FAO Document technique sur les pêches N° 171 FIRM/T171(Fr)

METHODES DE PROSPECTION POUR L'EVALUATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES

Edité par

A. Saville
Marine Laboratory
Aberdeen, Ecosse

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome 1978

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-43

ISBN 92-5-200516-1

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, seule détentrice des droits. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO 1978

PREPARATION DU PRESENT DOCUMENT

La FAO a déjà publié plusieurs manuels traitant des divers aspects et méthodes de prospection des stocks de poissons marins. Ce manuel se propose de faire le point, d'une manière concise et exhaustive, des objectifs que l'on peut atteindre à l'aide de prospections, ainsi que des méthodes dont on dispose pour les réaliser; il donne des conseils sur les façons d'opérer les choix nécessaires entre les différents objectifs et les méthodes possibles et décrit comment concevoir et réaliser une prospection efficace, compte tenu des circonstances.

Ce manuel a été préparé par A. Saville, du Marine Laboratory d'Aberdeen, en consultation avec le personnel de la Division des ressources halieutiques et de l'environnement de la FAO et avec la collaboration des chercheurs cités dans l'Introduction.

Distribution:

FAO, Département des pêches
Fonctionnaires régionaux des pêches
Membres du CCRRM
COI
Auteur

Références Bibliographiques:

Saville, A. (Ed.)(1978)
FAO Doc.Tech.Pêches, (171):81 p.
Méthodes de prospection pour l'évaluation des ressources halieutiques

Fishery surveys. Methodology. Stock assessment. Fishery resources. Exploratory fishing. Echo surveys. Primary production. Ichthyoplankton surveys. Stomach content. Data acquisition. Data processing. Potential yield.

TABLE DES MATIERES

		Page
1.	INTRODUCTION	
1.1	Objectifs des prospections	1
1.2	Présentation du manuel	2
	REFERENCES	3
2.	PROSPECTIONS PAR PECHES EXPLORATOIRES	4
2.1	Prospections par pêches exploratoires et méthodes voisines	4
2.2	Définition des objectifs d'une prospection	4
2.3	Aire et époque de prospection	6
2.4	Précision et exactitude des estimations tirées des prospections	6
2.5	Limites de confiance des estimations	7
2.6	Echantillonnage stratifié	10
2.7	Engins et méthodes d'échantillonnage	15
2.7.1	Choix du filet	15
2.7.2	Etalonnage des engins d'échantillonnage	16
2.7.3	Pêches comparatives	16
2.7.4	Position des chalutages	18
2.7.5	Heure et durée des traits	18
2.8	Echantillonnage des captures	19
2.9	Programme et rapport de croisière	20
	REFERENCES	21
3.	PROSPECTIONS ACOUSTIQUES	22
3.1	Caractéristiques des équipements acoustiques	22
3.2	Notions de base	23
3.3	Méthodes d'estimation de l'abondance	25
3.3.1	Analyse des échogrammes	26
3.3.1.1	Dénombrement des échos	26
3.3.1.2	Classement visuel des échotraces	27
3.3.1.3	Dénombrement et taille des bancs	28
3.3.2	Analyse des images de l'oscilloscope	31
3.3.3	Equipement de traitement automatique des signaux	31
3.4	Considérations sur l'échantillonnage	32
3.4.1	Considérations d'ordre statistique	32
3.4.2	Erreurs systématiques (biais)	33
3.4.3	Remarques générales	36
	REFERENCES	38

4. METHODES INDIRECTES DE PREDICTION DES POTENTIELS DE CAPTURE 42

4.1 Productivité primaire 42

4.1.1 Informations générales sur les estimations publiées concernant la productivité primaire 42
4.1.2 Evaluation de la production ichtyologique basée sur l'estimation de la productivité primaire 43
4.1.3 Méthodes de mesure de la productivité primaire 44
4.1.4 Utilité des estimations de production primaire en tant qu'indices de production ichtyologique 45

4.2 Abondance du zooplancton 46
4.3 Evaluation des oeufs et des larves 47
4.4 Examen des contenus stomacaux des formes trophiques supérieures 51

REFERENCES 52

5. COLLECTE ET SAISIE DES DONNEES 54

5.1 Choix des données 54
5.2 Relevé des données 54
5.3 Identification et narratif des campagnes 55
5.4 Identification des stations et enregistrement des mesures 56
5.5 Informations sur les captures 60
5.6 Enregistrement des distributions de fréquence 60
5.7 Données biologiques 65
5.8 Enregistrement des données acoustiques 65

REFERENCES 68

6. ANALYSE ET INTERPRETATION DES MESURES 69

6.1 Inventaire et répartition spatio-temporelle des espèces disponibles 69
6.2 Estimation des rendements commerciaux probables 70
6.3 Estimation de la biomasse instantanée 72
6.4 Estimation de la production potentielle 74
6.5 Présentation des résultats 77

REFERENCES 77

7. CONCLUSIONS ET CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE CHOIX DES METHODES DE PROSPECTION 79

1. INTRODUCTION

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, l'évaluation du potentiel alimentaire des océans retient de plus en plus l'attention et ce pour deux raisons: l'appauvrissement des fonds de pêche traditionnels par suite de leur exploitation toujours plus intensive par les pays développés et l'intérêt manifesté par les pays dont l'industrie de la pêche est plus jeune à accroître la production protéique des mers qui les bordent. Cette attention ne devrait pas fléchir dans un avenir immédiat, l'évolution du droit de la mer ne pouvant qu'inciter les états à obtenir une meilleure idée de l'ensemble des ressources dont ils disposent à l'intérieur de leur zone élargie de juridiction exclusive sur la pêche.

Pour toutes ces raisons, un grand nombre de prospections ont été réalisées au cours des 30 dernières années dans les diverses mers du globe en vue d'évaluer le potentiel des ressources encore inutilisées et pour déterminer lesquelles parmi celles qui sont connues sont susceptibles de supporter un accroissement de production par extension des aires exploitées. De telles prospections ont été réalisées par diverses institutions nationales et internationales. La FAO est intervenue frequemment un peu partout dans le monde, pour promouvoir, réaliser et rendre compte des résultats de telles prospections.

Les résultats de ces prospections de stocks peuvent être difficiles à interpréter et à appliquer à la planification de la mise en valeur des ressources en particulier. Ils peuvent même conduire à des conclusions erronnées si les objectifs que l'on se propose d'atteindre ne sont pas clairement définis et ne correspondent pas aux moyens humains et matériels dont on dispose. Egalement, les phases ultérieures de formulation et d'exécution des plans de prospection doivent être adaptées à la réalisation de ces objectifs. C'est parce qu'elle a constaté que nombre de prospections passées n'ont souvent atteint que très particulièrement les résultats escomptés que la FAO a publié une série de manuels sur la prospection des ressources (Alverson, 1971; Mackett, 1973; Gulland, 1975). Ces documents décrivent certains moyens susceptibles d'améliorer la qualité des résultats. Néanmoins, la science halieutique a grandement progressé depuis que le premier de ces manuels a été élaboré. Aussi a-t-on décidé, en 1976, de les mettre à jour et de rassembler leur contenu en un seul volume couvrant les principaux concepts de la prospection des ressources. Le présent manuel doit beaucoup aux premiers auteurs et constitue en fait une révision de leurs travaux plus qu'une dissertation originale.

1.1 Objectifs des prospections

Les objectifs d'une prospection de stock sont dans une large mesure fonction du stade de développement atteint par la pêcherie dans la zone considérée, ainsi que le l'état actuel des connaissances concernant les ressources sur lesquelles cette pêcherie repose. Fondamentalement, une telle prospection est susceptible de fournir des informations sur tous les sujets suivants, encore que la même prospection ne permette que rarement d'obtenir simultanément des renseignements utiles sur toutes ces questions:

(a) quelles espèces de poisson sont disponibles dans une aire donnée;
(b) quelle est leur répartition à l'intérieur de cette aire et comment celle-ci varie-t-elle dans le temps et l'espace;
(c) quels rendements (c'est-à-dire la prise par type de bateau et par unité de temps) peuvent être réalisés? Comment varient-ils selon les saisons et dans l'aire;
(d) quelle est la taille du stock et quelle est celle de la fraction de celui-ci susceptible d'être exploitée;
(e) quelles méthodes de pêche conviennent le mieux pour son exploitation;
(f) quelle peut être la production annuelle équilibrée.

Etant donné que la conception des prospections diffère selon la nature des questions que l'on est amené à se poser, le choix du type de prospection se fera en fonction de l'urgence des connaissances que l'on souhaite acquérir. Aucun plan de prospection n'est en effet en mesure de fournir seul toutes les réponses. Aussi, le premier stade de la conception d'une prospection consiste-t-il à en identifier clairement les objectifs.

L'importance relative de chaque type de renseignements dépend essentiellement de l'état de développement de l'industrie de la pêche au moment où la prospection est envisagée. Dans une région où les ressources sont peu ou pas exploitées, la première priorité portera sans doute sur l'obtention d'informations sur la nature des espèces disponibles, leur aire de répartition et leur distribution saisonnière, les rendements escomptables et les techniques les mieux adaptées à leur pêche, cela dans le but de promouvoir les investissements nécessaires au lancement d'une nouvelle pêche ou à l'extension de l'aire d'opérations d'une flottille déjà en place. A ce stade, il est également utile de disposer d'une première indication du potentiel probable de façon à pouvoir déterminer si la pêcherie justifie des recherches ultérieures ou des investissements supplémentaires. Pendant la phase d'expansion de la pêcherie, l'objectif consistera à obtenir des évaluations de plus en plus précises de la taille du stock, sa production équilibrée et la meilleure stratégie d'aménagement de façon à pouvoir déterminer le volume et l'orientation des investissements nécessaires au développement ultérieur de la pêcherie et à s'assurer en particulier que les investissements ne viennent à excéder le niveau que le stock peut supporter. De tels surinvestissements n'ont été que trop fréquents par le passé, un peu partout dans le monde et la difficulté qu'il y a à y remédier est démontrée par l'état d'épuisement de nombreuses ressources marines d'importance majeure.

Le présent manuel ne porte que sur les prospections ayant pour objectifs ceux énumérés plus haut, c'est-à-dire ceux qu'en 1971 Alverson appelait "les prospections par pêches exploratoires" et Gulland (1975), plus justement, "les prospections d'évaluation des ressources". Les prospections peuvent servir à atteindre d'autres objectifs de la science halieutique; elles peuvent par exemple servir à simuler une exploitation de type commercial ou à réaliser des essais comparatifs des effets sur l'efficacité de modifications des engins de pêche. Toutefois, ces travaux concernent souvent des pêcheries bien développées, tandis que notre objet est essentiellement de contribuer à stimuler l'exploitation de ressources potentielles ou sous utilisées. Si les prospections d'évaluation des ressources sont poursuivies pendant plusieurs années, parallèlement à l'expansion d'une pêcherie commerciale, les renseignements fournis par un tel programme permettront également de suivre les effets de la pêche sur le stock.

Au stade initial de la planification, il est donc vital que les objectifs premiers soient clairement définis. Dans ce choix, il est important de tenir pleinement compte de l'état actuel des pêcheries dans le secteur, des options retenues par le gouvernement ou l'industrie en matière d'expansion ultérieure et, surtout, des moyens de recherche disponibles. Il est de fortes chances que ces objectifs aient été déjà fixés dans leurs grandes lignes par le gouvernement ou tout autre institution finançant la prospection. Cependant, le chercheur responsable de son exécution devra être longuement consulté, et cela dès la phase initiale, si l'on veut être sûr que les objectifs retenus soient réalistes, c'est-à-dire qu'ils tiennent pleinement compte des besoins futurs probables de l'industrie ainsi que des moyens disponibles pour réaliser les prospections.

La prospection des ressources est toujours onéreuse et ceux qui en assument le financement s'attendent à obtenir des informations fiables, utilisables en pratique pour orienter leur future stratégie d'investissement et d'aménagement. Il arrive fréquemment que lors la planification des prospections, des objectifs tout à fait raisonnables, mais secondaires, empiètent sur le temps ou les moyens matériels et humains disponibles au point de contrecarrer les objectifs principaux. L'effort que l'on pourra en fait appliquer à un seul objectif, quel qu'il soit, se révèlera alors insuffisant pour conduire à des résultats autorisant les applications pratiques escomptées. Toute prospection se proposant des objectifs multiples risque donc de ne produire que des résultats tout à fait approximatifs pour chacun d'entre eux. Aussi est-il essentiel, dès le stade initial de planification, de dresser la liste des paramètres qui doivent être mesurés et de les ordonner selon leur priorité.

1.2 Présentation du manuel

S'il est essentiel de planifier et de préparer les prospections selon leurs objectifs, il est plus pratique, dans un manuel comme celui-ci, d'examiner dans des chapitres distincts les diverses méthodes et procédures disponibles. Le lecteur aura néanmoins à décider quelle

méthode, ou combinaison de méthodes, convient le mieux à la réalisation des objectifs qu'il aura été amené à retenir, compte tenu des moyens qu'il pourra mobiliser pour sa prospection.

Les chapitres qui suivent traitent des sujets suivants:

Prospections par pêches exploratoires, depuis les premiers stades de la planification jusqu'aux détails de leur exécution;

Prospections acoustiques faisant intervenir des équipements de complexité croissante;

Méthodes indirectes de prédiction des productions potentielles des ressources, fondées sur la mesure de la productivité planctonique, l'évaluation des effectifs d'oeufs et de larves d'une population ou l'observation des contenus stomacaux des formes trophiques supérieures;

Saisie et archivage des données, éléments essentiels pour le traitement ultérieur des données et la présentation des résultats de toute prospection;

Analyse des données et interprétation finale, points finaux de toutes les activités qui précèdent, et dont les résultats resteront tributaires des acquis et soins initiaux;

Conclusions et considérations générales sur le choix des méthodes de prospection; conseils relatifs à la définition des objectifs de la prospection, au choix des méthodes, compte tenu des informations présentées dans les chapitres précédents.

Je souhaite exprimer ma gratitude à M. A. Corten, IJmuiden, qui a préparé le manuscrit initial du chapitre 2, à M. le Professeur R.E. Thorne, Seattle, pour le chapitre 3 ainsi qu'à MM. O. Dragesund, Bergen, pour le chapitre 4 et W.B. Hall, Aberdeen, pour le chapitre 5.

REFERENCES

Alverson, D.L., 1971 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 1. Survey and charting of fisheries resources. FAO Fish.Tech.Pap., (102):80 p.

Gulland, J.A., 1975 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 5. Objectives and basic methods. FAO Fish.Tech.Pap., (145):29 p.

Mackett, D.J., 1973 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 3. Standard methods and techniques for demersal fisheries resource surveys. FAO Fish.Tech.Pap., (124):39 p.

2. PROSPECTIONS PAR PECHES EXPLORATOIRES

2.1 Prospections par pêches exploratoires et méthodes voisines

L'expression "prospections par pêches exploratoires" s'applique en général à l'étude de fonds qui ne sont pas encore exploités. Cette méthode s'applique à dresser l'inventaire des espèces de poisson capturables, à estimer l'abondance absolue des stocks, à obtenir une première approximation de leur production potentielle et une première estimation des rendements commerciaux probables. Une fois qu'une exploitation s'est établie dans le secteur, les prospections au moyen de navires de recherche peuvent toujours permettre de suivre les variations d'abondance des stocks sous l'effet de la pêche ou d'estimer le recrutement des classes d'âge entrant dans la pêcherie et contribuer ainsi à l'élaboration des mesures ultérieures d'aménagement. La gamme d'activités qui tombe sous la rubrique "prospection de pêches exploratoires" est assez vaste et comprend notamment:

1) La recherche de concentrations de poisson par l'emploi de navires pilotes en vue de localiser les concentrations les plus fortes et de diriger vers elles les flottilles commerciales; on peut leur donner le nom de reconnaissances à l'aide de bateaux pilotes.

2) La pêche expérimentale, qui couvre les essais visant à mettre au point l'équipement et la stratégie de pêche susceptibles d'optimiser l'efficacité d'une pêcherie particulière.

3) Les simulations de pêches commerciales visant à estimer les rendements moyens maximaux que l'on peut espérer obtenir dans un secteur avec un certain type de navires et d'engins.

4) Les prospections d'évaluation des ressources, ayant pour but de rassembler des informations sur les espèces susceptibles d'une certaine pêche ainsi qu'une première estimation de leur densité, de leur distribution et de l'ordre de grandeur de leur potentiel annuel de capture.

5) Les prospections de surveillance régulière des stocks destinées à suivre les variations annuelles et à plus long terme de l'abondance et de la distribution des stocks.

Ce chapitre porte essentiellement sur le quatrième type de prospections, à savoir celles destinées à évaluer les ressources; les données recueillies à l'occasion de ces prospections peuvent d'ailleurs également servir à suivre de façon continue leur abondance et leur distribution.

La différence fondamentale entre les prospections de ce type et celles destinées à suivre l'état des ressources réside dans le fait que dans le premier cas, on cherche à obtenir une estimation absolue de la biomasse. Par contre, lorsque le stock est déjà en exploitation, on peut se contenter de suivre d'une année à l'autre ses variations d'abondance. L'abondance du poisson pourra être exprimé en rendements obtenus avec un certain engin normalisé. Ces valeurs pourront alors être comparées à leur moyenne sur une longue période. On veillera généralement à effectuer ces prospections régulièrement aux mêmes époques chaque année.

Malgré les différences d'objectifs entre prospections d'évaluation des stocks et prospections de surveillance, les méthodes qu'elles font intervenir sont en pratique très voisines. Celles décrites dans ce chapitre s'appliquent également à l'un et à l'autre type, qui ne seront plus distingués dorénavant.

2.2 Définition des objectifs d'une prospection

Les objectifs d'une prospection seront en général assez bien spécifiés dans le projet initial. Les administrateurs qui l'ont commandé auront précisé quelles zones il faudra prospecter et, très souvent, quelles espèces de poissons les intéressent. L'objectif principal consistera à déterminer le schéma de distribution des espèces retenues et à en estimer l'abondance absolue à l'intérieur de l'aire délimitée. Dans une zone où la pêche vient juste de

démarrer, on pourra obtenir une première estimation de la production annuelle potentielle à partir de l'estimation de la biomasse du stock vierge, en ayant pour cela recours à l'équation approchée suivante:

$$Y = 0,5\ M\ B_o \quad \text{(Gulland, 1975)}$$

dans laquelle Y est la production potentielle maximale annuelle,

B_o la biomasse du stock inexploité,

M le coefficient de mortalité naturelle

Un autre objectif consistera à recueillir des données biologiques sur les espèces étudiées. Ces données serviront à distinguer les unités de stock, à élucider les schémas migratoires, à étudier le cycle de reproduction et à préciser les évaluations de stocks en rassemblant des informations sur leur structure d'âge, ainsi que sur leurs taux de croissance et de mortalité. Les informations que l'on recherchera porteront alors sur les déterminations d'âge, les distributions de longueur, les relations longueur-poids, les stades de maturité, le degré d'engraissement, les parasites, les caractères méristiques, etc. La même prospection pourra éventuellement donner lieu au prélèvement d'échantillons d'ichtyoplancton en vue d'évaluer l'abondance des oeufs et des larves.

Les observations sur les paramètres du milieu peuvent constituer un troisième objectif. Ces renseignements pourront être utiles pour étudier les relations existant entre la distribution du poisson et certains facteurs comme la salinité, la température, la teneur en sels nutritifs, la turbidité, l'abondance de plancton, etc.

Si ces renseignements peuvent être intéressants dès lors que l'on a pu établir une liaison claire entre eux et la distribution ou l'abondance du poisson, il est néanmoins inopportun d'y consacrer trop de temps, aux dépens de l'objectif principal, car la mise en évidence de telles relations est très aléatoire et l'on risque de disperser ses efforts et ses moyens sur des objectifs trop divergents et trop vaguement définis. Il importe donc de fixer, de la façon suivante, les priorités entre les différents objectifs:

1) Estimation de l'abondance et de la distribution des espèces dans l'ensemble de l'aire à prospecter. Il faudra pour cela d'abord essayer avec soin les engins susceptibles de convenir à l'échantillonnage afin de choisir le plus approprié. On s'efforcera ensuite de réaliser un nombre aussi élevé que possible de traits pendant la période où l'on dispose du navire (cf. par. 2.4 à 2.6).

2) Rassemblement de données biologiques: il s'agit là d'un sous produit intéressant de la prospection, dans la mesure où leur collecte n'affectera pas le nombre de traits effectués. Les données biologiques recueillies en mer complètent utilement l'échantillonnage des débarquements commerciaux. En général, on devra cependant, chaque fois que possible, s'efforcer de tirer le maximum de renseignements de l'échantillonnage régulier des prises débarquées; celles-ci constituant une source d'échantillons beaucoup plus régulière et moins onéreuse que celle que l'on peut obtenir de prospections effectuées à l'aide de navires de recherche. Il convient toutefois de tenir compte du fait que les pêcheurs industriels prennent des échantillons choisis, et donc déformés, de la population du fait de la sélectivité des engins utilisés ainsi que de la répartition dans le temps et l'espace des opérations de pêche. Les échantillons que fournissent les navires de recherche peuvent aider à identifier au moins le second élément de cette distorsion et le corriger, encore que la sélectivité des engins risque d'être comparable quel que soit le type de navire utilisé.

3) Collecte de données sur l'environnement: il s'agit là d'un domaine qui bénéficie souvent d'une attention excessive. Il ne faudrait recueillir de telles données que lorsqu'il a été établi que, dans l'aire de prospection ou dans d'autres zones comparables, la distribution du poisson est affectée par un paramètre hydrologique facile à mesurer. En règle générale, il ne faudra pas prévoir la mesure de paramètres du milieu dont on aura pas avant la campagne, défini l'utilisation qu'on en fera.

Dans l'ensemble, il importe de ne pas surcharger le programme de prospection. On ne devrait recueillir aucune donnée sans avoir déterminé à l'avance ce qu'on en fera. Si le programme a un objectif assez général (prospection des ressources pélagiques par exemple), il peut être utile de définir plus précisément ceux relatifs à une ou deux espèces d'importance majeure. On pourra pour cela effectuer un petit nombre de prospections préliminaires. Dans les petits projets, il faudra veiller à ne pas consacrer une énergie excessive à un nombre élevé d'espèces différentes dans la mesure où leur prospection requiert des stratégies ou des engins différents.

2.3 Aire et époque de prospection

L'aire à échantillonner est en général approximativement déterminée par le cadre du programme. Toutefois, il sera le plus souvent judicieux de ne pas répartir l'effort d'échantillonnage de façon uniforme dans toute l'aire à étudier mais de la concentrer dans les secteurs où la densité du poisson est plus élevée (cf. section 2.6). On recherchera donc des informations sur la distribution probable du poisson dans les rapports de prospections déjà effectuées dans la même aire ou dans des secteurs voisins. Les pêcheurs locaux sont souvent à même de fournir des renseignements sur les schémas typiques de distribution du poisson. En règle générale, toutes les sources d'information sur la distribution probable de poisson doivent être utilisées lors de l'élaboration du plan initial d'échantillonnage. Lorsqu'il est impossible d'obtenir des informations suffisantes, il peut être utile d'effectuer une prospection préliminaire pour identifier les secteurs les plus riches de l'aire à prospecter. Ce premier travail d'échantillonnage devra être modifié par la suite de façon à tenir compte de toutes les informations au fur et à mesure de leur acquisition et de maximiser ainsi l'efficacité des prospections suivantes.

Chaque prospection halieutique destinée à évaluer les ressources fait généralement partie d'un programme plus vaste, pouvant couvrir une période de quelques mois à plusieurs années. Lorsqu'on dispose d'un navire pour un temps donné, il faudra d'abord déterminer si l'on aura recours à un petit nombre de prospections extensives ou au contraire à un grand nombre de prospections plus réduites. Ce choix dépendra du schéma de distribution auquel il faut s'attendre; lorsque la répartition du poisson reste assez stable mais montre des différences importantes selon le type de fonds, on prévoiera des campagnes intensives, espacées dans le temps. Par contre, d'autres espèces comme les poissons pélagiques, sont très mobiles et leur abondance locale est susceptible de varier très rapidement en relation avec l'existence de migrations saisonnières par exemple. Dans ce cas, il faudra augmenter le nombre de campagnes au détriment de la densité des observations ponctuelles (traits par exemple). En fait, lorsqu'il y a lieu de supposer que la distribution ou l'abondance sont susceptibles de varier notablement d'une année à l'autre, il sera essentiel de répéter les prospections sur plusieurs années. Sinon on risquera de baser la décision d'investir ou pas sur des observations réalisées au cours d'une année où les conditions s'écartent notablement de la moyenne.

2.4 Précision et exactitude des estimations tirées des prospections

Les résultats des prospections sont entâchés d'erreurs de type aléatoire et de nature systématique. Les erreurs aléatoires résultent de la variance entre les traits. Si la variance inter-traits est forte, la moyenne estimée du nombre d'individus par trait aura en conséquence un écart-type élevé. Dans ce cas, l'estimation sera peu précise. Si la prospection avait été effectuée par des navires identiques à la même époque, il aurait fallu s'attendre à ce que les estimations fournies par chaque navire diffèrent très sensiblement. Comme on le verra ci-après, la précision des estimations peut être améliorée en augmentant le nombre de traits et en concentrant ceux-ci dans les secteurs où le poisson est plus abondant (échantillonnage stratifié).

Toutefois, si le nombre de traits est élevé et par conséquent la précision l'est également, l'estimation que donnera la prospection peut encore différer très nettement de la valeur vraie. Dans ce cas, si la prospection est répétée plusieurs fois, les résultats obtenus seront très voisins mais diffèreront toujours d'une quantité à peu près constante

de la valeur vraie. Un tel écart provient de l'existence d'une erreur systématique, ou biais, qui affecte l'exactitude de l'estimation. Le biais peut avoir plusieurs causes comme le choix d'un engin d'échantillonnage inapproprié, les variations nycthémérales du comportement du poisson ou encore la tendance, insuffisamment contrôlée, du capitaine à mettre en pêche là où il rencontre des échos et non selon un réseau de stations dont la position aura été fixée au préalable de façon aléatoire. Dans ce dernier cas, les captures traduiront alors une densité de poisson plus élevée que celle qui existe réellement sur l'ensemble de l'aire à prospecter.

Les résultats des prospections seuls ne permettent en aucune façon de mesurer l'importance du biais. On peut tout simplement s'efforcer d'éviter dans toute la mesure du possible les causes d'erreur systématique en s'assurant que l'engin pêche convenablement (par exemple en comparant ses performances à celles d'autres d'engins de modèles différents) et que la distribution des traits est effectivement aléatoire. L'exactitude des résultats des prospections ne peut être déterminée que par comparaison avec des estimations de stocks obtenues de façon indépendante: par exemple par prospection acoustique, évaluation de l'abondance des oeufs et des larves ou encore à l'aide d'expériences de marquage.

La précision de l'estimation, de son côté, peut être mesurée directement à partir de la variance entre les traits individuels. Ceci sera traité dans le prochain chapitre. Les administrateurs qui auront à utiliser les résultats des prospections ont grand intérêt à avoir une idée de la précision des estimations. Lorsque celle-ci est inférieure à leurs besoins minimaux, il faudra, lors des prospections suivantes, accroître l'intensité de l'échantillonnage.

2.5 Limites de confiance des estimations

Lors de la planification des prospections et de l'interprétation des résultats, le biologiste se trouvera souvent confronté à des problèmes statistiques avec lesquels il peut ne pas être très familiarisé. Les deux questions qui suivent donnent un exemple de ce type de problèmes:

a) Quelle est la précision de l'estimation? Lorsqu'à l'issue d'une prospection comprenant 50 traits par exemple dans une certaine aire, on a obtenu une capture moyenne de 500 poissons par heure, quelle est la différence probable entre ce résultat et la moyenne réelle de la population (c'est-à-dire la moyenne d'un nombre infini de traits réalisés dans la même aire)? En d'autres termes, entre quelles limites se situera la moyenne réelle de la population dans, mettons, 95 % de tous les cas (limites de confiance: 95 %)? Se situera-t-elle entre 490 et 510 ou entre 300 et 800?

b) Combien de traits faudrait-il réaliser pour obtenir un niveau de précision prédéterminé? Si l'on veut que l'estimation ne diffère pas de plus de 20 %, par exemple, de la moyenne effective de la population, combien de traits faudra-t-il effectuer?

Pour résoudre ces problèmes, la distribution statistique des captures par trait de chalut et, ce qui importe d'avantage, celle de la moyenne d'une série de captures, doivent être analysées.

Si l'on représente graphiquement la distribution de fréquence d'une série de prises au chalut, le résultat se présente à peu près comme l'indique la figure 1. Ce graphique diffère sensiblement des distributions Normales ou de Poisson fréquemment rencontrées dans les phénomènes biologiques. Le diagramme de la figure 1 est très asymétrique, de nombreux traits n'ayant donné que peu de poissons tandis que quelques traits en contenaient un nombre exceptionnellement élevé. Cela est dû à la tendance du poisson à se grouper en certains secteurs. Cette distribution très asymétrique, que l'on obtient dans une série de captures au chalut est un exemple de distribution dite "contagieuse". Elle est caractérisée par des variances très importantes, supérieures à la moyenne de la population. Elliot (1971) a bien décrit les différents types de distributions contagieuses. Cependant, la statistique qui nous intéresse directement est la moyenne des séries de traits. Sa distribution, elle, est normale ;

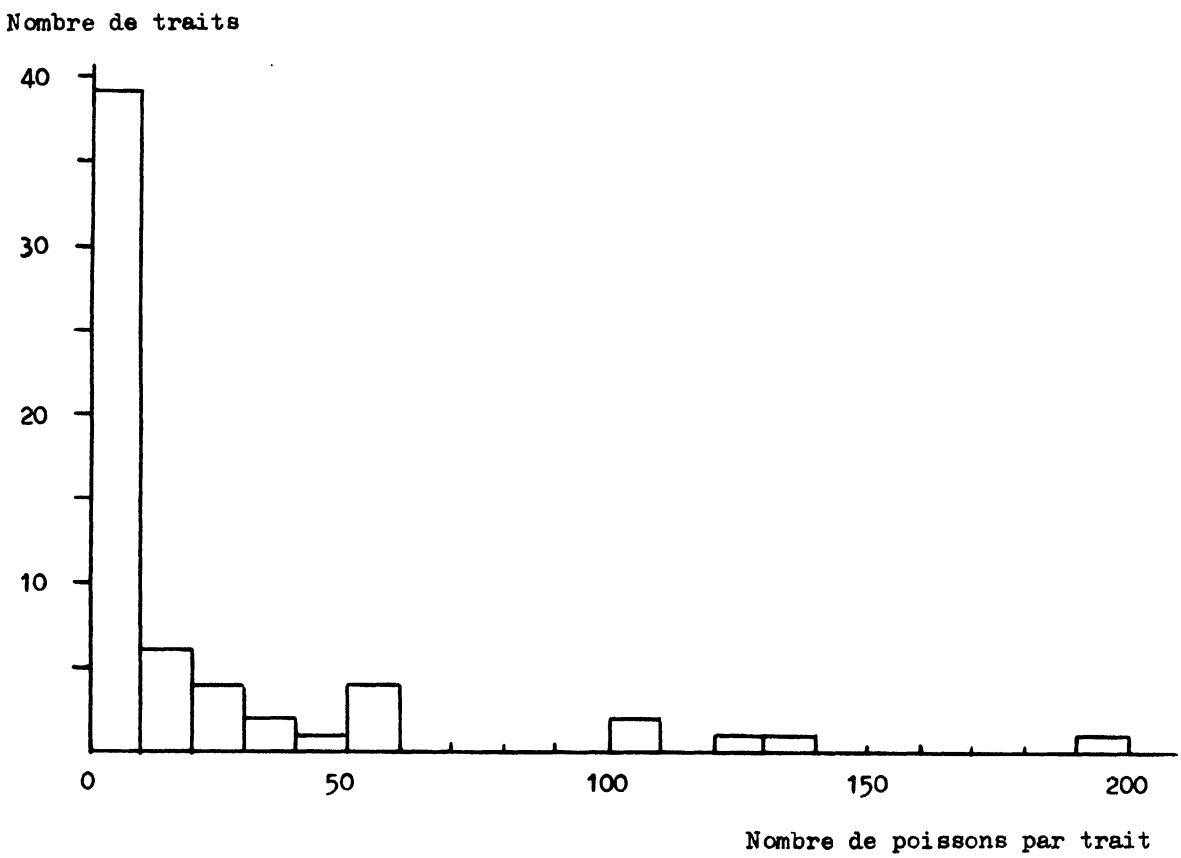


Figure 1 Distribution asymétrique de fréquence, typique des captures au chalut

à condition que le nombre d'observations soit suffisant (30 au moins), ses propriétés sont donc beaucoup plus simples, quel que soit le type de distribution que suivent les échantillons individuels. Ainsi, si nous effectuons la prospection pendant la même période de temps, avec un certain nombre de navires identiques travaillant selon le même schéma d'échantillonnage, nous constatons que les valeurs moyennes dérivées de chacune de ces prospections donnent des résultats qui rentrent tous dans une distribution normale. La moyenne de cette distribution normale est égale à la moyenne des distributions asymétriques originaires. C'est cette estimation que nous devons tenter d'extraire des résultats de la prospection par chalutage.

La variance de la prise moyenne par trait, $\bar{x}$ est égale à:

$$\text{var}(\bar{x}) = \frac{\text{var}(x)}{n},$$

équation dans laquelle var(x) est la variance de la distribution originaire des captures par trait x, et n est le nombre de traits effectués.

L'écart-type de la moyenne est:

$$\text{écart-type}(\bar{x}) = \sqrt{\text{var}(\bar{x})} = \sqrt{\frac{\text{var}(x)}{n}}$$

Le fait que la moyenne des moyennes soit distribuée normalement permet de calculer son intervalle de confiance:

$$\pm t\sqrt{\frac{\text{var}(x)}{n}}$$

Les valeurs du t de Student sont données dans les tables statistiques courantes. La valeur que l'on utilisera sera fonction de l'intervalle de confiance (pour cent) nécessaire ainsi que du nombre de degrés de liberté (nombre de traits - 1). Le Tableau 1 donne certaines valeurs de t. L'écart-type de la moyenne de la prospection est fonction de la variance inter-traits ainsi que du nombre de traits effectués pendant la prospection. Si l'on augmente le nombre de traits, l'écart-type de la moyenne diminuera et la précision augmentera. La précision croît cependant de moins en moins vite au fur et à mesure qu'augmente le nombre de traits.

Tableau 1

Valeurs du t de Student pour divers degrés de liberté

	t	
Degrés de liberté (n-1)	limites de confiance (90%)	Limites de confiance (95%)
30	1,70	2,04
40	1,68	2,02
60	1,67	2,00
120	1,66	1,98
∞	1,64	1,96

On trouvera à la Figure 2 et au Tableau 2 un exemple du calcul de $\bar{x}$ et de ses limites de confiance.

Nous venons de voir qu'il est possible de calculer le degré de précision de l'estimation fournie par une prospection une fois celle-ci achevée et ses résultats disponibles. Dans ce cas, on peut aussi calculer le gain de précision que l'on peut escompter d'un accroissement donné du nombre de traits. En admettant que la distribution des poissons reste la même, on peut donc déterminer le nombre d'échantillons qui seront nécessaires pour les prospections ultérieures dans la même aire.

Lorsqu'il faut concevoir une campagne dans une zone encore non prospectée, il n'est pas possible de calculer à l'avance l'intensité d'échantillonnage qui permettra d'obtenir un degré de précision prédéterminé. La meilleure méthode consistera alors à se référer aux résultats d'autres prospections effectuées dans des secteurs comparables et à estimer le rapport qui existe entre l'intensité d'échantillonnage et la précision des estimations obtenues. Si la variabilité n'est pas très différente de celle de notre propre aire de prospection, cette procédure fournira une première indication de l'intensité d'échantillonnage requise. Dans l'ensemble, on a constaté que dans les prospections par chalutage, pour une espèce démersale donnée, l'écart-type de la prise par trait est pratiquement égal à la prise moyenne par trait; on peut donc s'attendre à ce que l'écart-type de la moyenne estimée de la prise par trait soit égale en gros à:

$$\text{écart-type } (\bar{x}) = \sqrt{\frac{\text{var}(\bar{x})}{n}} = \bar{x}/\sqrt{n}$$

Ainsi, lorsqu'on réalise 100 traits, l'écart-type de la moyenne estimée sera de: $\bar{x}/\sqrt{100} = \bar{x}/10$, soit environ 10 % de la moyenne elle-même. Pour les espèces pélagiques, le coefficient de variation des captures par trait (c'est-à-dire le rapport entre l'écart-type et la moyenne) est généralement beaucoup plus élevé. De ce fait, l'estimation de la moyenne est beaucoup moins précise. Hennemuth (1976) et Jones et Pope (1973) donnent quelques résultats de prospections par chalutage.

2.6 Echantillonnage stratifié

Un moyen plus pratique et plus efficace d'accroître la précision des estimations consiste à diviser la zone à prospecter en strates à l'intérieur desquelles la densité du poisson est plus homogène, à estimer séparément la moyenne et la variance propres à chaque strate, puis à les combiner dans une estimation globale des paramètres se rapportant à l'ensemble de l'aire prospectée. La variance augmente normalement avec la densité de la population, aussi peut-on obtenir une meilleure précision en concentrant l'effort d'échantillonnage dans les strates à plus fortes densités et donc en réduisant l'échantillonnage dans les strates où l'on s'attend à rencontrer des densités plus faibles.

Cette méthode est appelée "échantillonnage stratifié". Avant d'entreprendre une prospection, on divise l'aire en secteurs ou "strates" de densités élevée et faible. Il faut bien évidemment pour cela disposer au préalable d'informations sur la répartition du poisson. Ces informations peuvent avoir diverses origines, comme:

a) les caractéristiques topographiques ou hydrologiques, dont on sait qu'elles affectent la distribution du poisson (profondeur, nature du fond, salinité ou température, etc.);
b) les résultats de prospections analogues effectuées antérieurement;
c) lorsqu'on ne dispose d'aucune information de type (a) ou (b) susceptible d'être utilisée pour la stratification, les résultats d'une croisière préliminaire, réalisée immédiatement avant la prospection principale;
d) les renseignements donnés par des campagnes de prospection acoustique. Cette méthode peut être adoptée lorsque l'écho-sondeur donne certaines indications sur l'abondance du poisson mais que celles-ci restent insuffisantes pour conduire à des estimations chiffrées. Dans ce cas, les informations acoustiques servent à délimiter des zones à densités élevée ou faible. Ensuite, les densités réelles de chaque secteur seront évaluées au moyen de pêches au chalut (Doubleday, 1976).

Les connaissances disponibles avant la campagne seront en général insuffisantes, pour qu'il soit possible de prévoir un schéma d'échantillonnage comprenant plus de deux ou trois séries de strates. Les strates peuvent être de dimensions différentes et chacune d'entre elles peut comprendre plusieurs secteurs distincts, situés en divers points de l'aire à prospecter.

On trouvera à la Figure 3 et au Tableau 3 une démonstration des avantages de l'échantillonnage stratifié. Cet exemple se réfère à la même aire que celle donnée sur la Figure 2, à la différence près que nous savons cette fois à la lumière d'une prospection préliminaire que la densité du poisson à l'intérieur de l'isobathe 20 m est en moyenne 8 fois supérieure à celle dans les fonds supérieurs. L'aire de prospection a été divisée en deux strates: la strate A (moins de 20 m de profondeur) et la strate B (plus de 20 m de profondeur). Le rapport des superficies des strates A et B est 5:16. L'effort d'échantillonnage (traits par unité d'aire) dans la strate A sera maintenant 8 fois supérieur à celui protant sur la strate B. Le nombre total de traits à effectuer dans chaque strate sera calculé de façon suivante:

$$\frac{\text{nombre de traits dans la strate A}}{\text{nombre de traits dans la strate B}} = \frac{5}{16} \times \frac{8}{1} = \frac{40}{16}$$

Si, comme dans l'exemple précédent, le nombre total de traits est gardé égal à 60, il faudra donc effectuer 43 traits dans la strate A et 17 traits dans le strate B.

La Figure 3 donne les résultats que l'on aurait obtenu avec ce nouveau schéma d'échantillonnage. Pour chaque strate, la moyenne, la variance et la variance de la moyenne peuven être calculées comme il est indiqué au Tableau 3. Ces chiffres sont alors combinés en une moyenne et une variance globales se rapportant à l'ensemble de l'aire. On se servira pour cela des formules ci-après:

Moyenne stratifiée (pour toute l'aire):

$$\bar{x}_{st} = \frac{\bar{x}_a \cdot \text{aire}(A) + \bar{x}_b \cdot \text{aire}(B)}{\text{aire totale}}$$

$$\text{variance } \bar{x}_{st} = \text{var } \bar{x}_a \cdot \left[\frac{\text{aire (A)}}{\text{aire totale}}\right]^2 + \text{var } \bar{x}_b \cdot \left[\frac{\text{aire (B)}}{\text{aire totale}}\right]^2$$

où $\bar{x}_a$ et $\bar{x}_b$ sont les nombres moyens par trait correspondant respectivement aux strates A et B.

Lorsqu'on est en présence de plus de 2 strates, les formules générales suivantes s'appliquent:

$$\bar{x}_{st} = \sum \frac{\bar{x}_n \cdot \text{aire (N)}}{\text{aire totale}}$$

$$\text{var } \bar{x}_{st} = \sum \text{var } \bar{x}_n \left[\frac{\text{aire (N)}}{\text{aire totale}}\right]^2$$

Les données du Tableau 3 donnent une moyenne stratifiée de 23,94 et un intervalle de confiance (à 95 %) de $\pm$ 7,16.

Il est claire que l'intervalle de confiance à 95%, exprimé en pourcentage de la moyenne, a été nettement réduit par la méthode d'échantillonnage stratifié (de 48 % à 30 %). Les résultats sont plus précis pour le même effort d'échantillonnage; en d'autres termes, nous avons fait mieux pour le même coût.

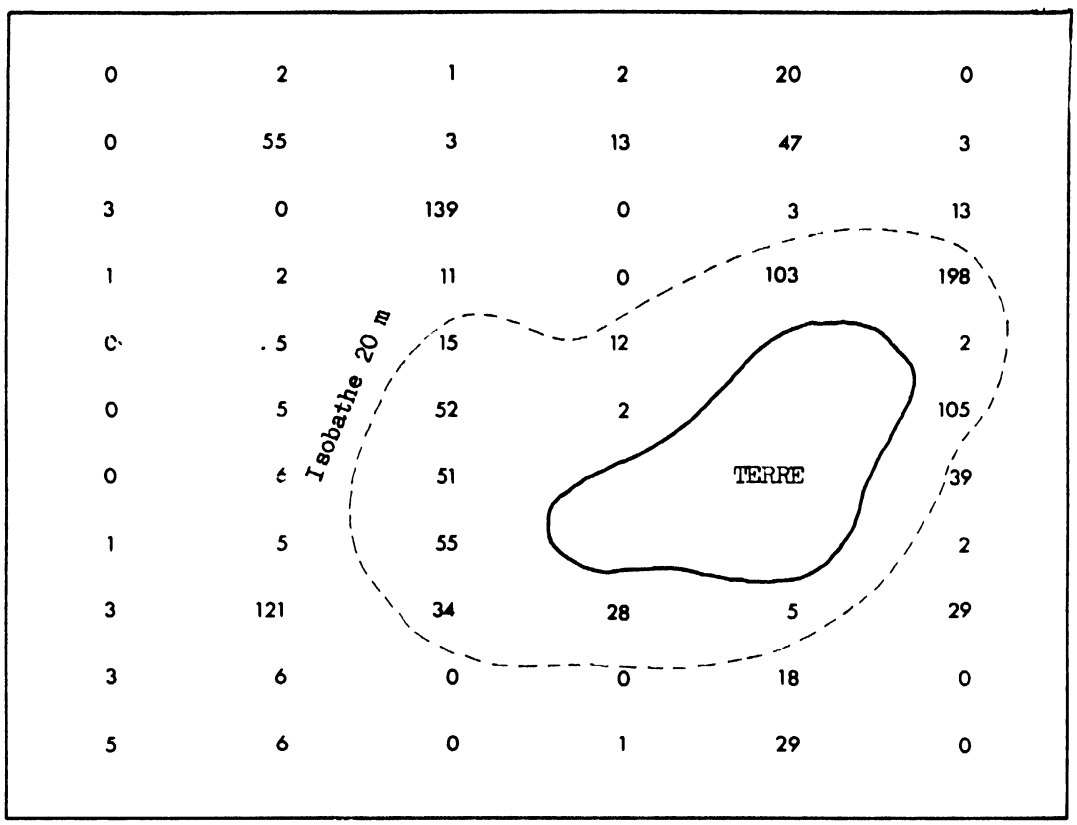


Figure 2 Résultats d'une prospection par chalutage dans laquelle les traits de chalut ont été régulièrement espacés sur toute l'aire prospectée

Tableau 2

Calcul du nombre moyen de poissons par trait et des limites de confiance correspondant aux données de la Figure 2

Nombre de traits = 60

Variance entre les traits individuels = 1 504,16

Nombre moyen par trait ($\bar{x}$) = 21,07

Variance ($\bar{x}$) = $\frac{1\,504,16}{60}$ = 25,07

Ecart-type ($\bar{x}$) = 5,01

Limites de confiance ($\bar{x}$) ± t.(5,01)

- probabilité 0,90: ($\bar{x}$) = 21,07 ± (1,67)(5,01) = 21,07 ± 8,37 = 21,07 ± 39 %
- probabilité 0,95: ($\bar{x}$) = 21,07 ± (2,00)(5,01) = 21,07 ± 10,02 = 21,07 ± 48 %

Tableau 3

Calcul du nombre moyen de poissons par trait et des intervalles de confiance correspondant aux données de la Figure 3

	Strate A	Strate B
Nombre de traits	43	17
Variance inter-traits	4 385,21	206,31
Nombre moyen par trait	68,72	9,94
Variance ($\bar{x}$)	101,98	12,14

Moyenne stratifiée = $\frac{5}{21} \cdot (68,72) + \frac{16}{21} \cdot (9,94) = 23,94$

Variance de la moyenne stratifiée = $\left(\frac{5}{21}\right)^2 \cdot (101,98) + \left(\frac{16}{21}\right)^2 \cdot (12,14) = 12,83$

Ecart-type de la moyenne stratifiée = 3,58

Limites de confiance:

- probabilité 0,90 : 23,94 ± 5,98 = 23,94 ± 25 %
- probabilité 0,95 : 23,94 ± 7,16 = 23,94 ± 30 %

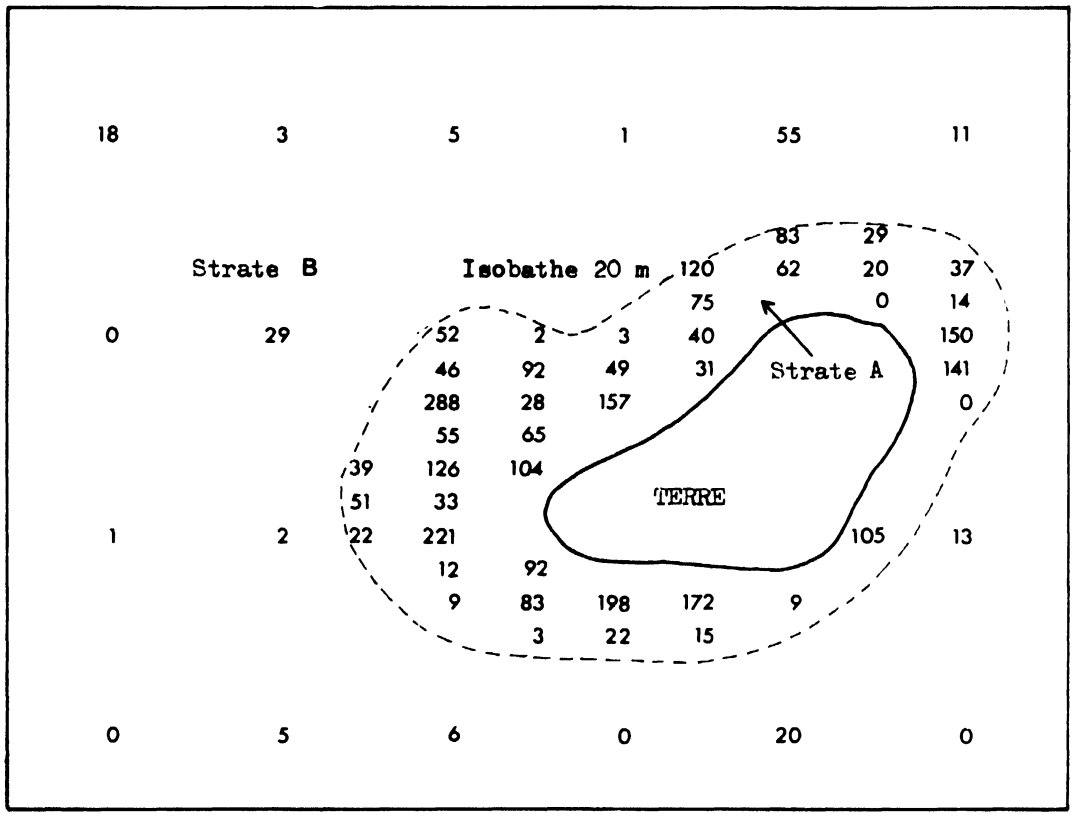


Figure 3 Résultats d'une prospection par chalutage réalisée selon un schéma d'échantillonnage stratifié. La strate A (forte intensité d'échantillonnage) est définie par l'isobathe 20 m

2.7 Engins et méthodes d'échantillonnage

2.7.1 Choix du filet

L'engin sera d'abord choisi en fonction des espèces de poisson que l'on désire échantillonner. Le plus souvent, le choix portera sur un modèle particulier de chalut de fond. L'emploi d'un chalut peut se révéler impossible pour prospecter certains stocks et d'autres engins - senne coulissante, filet maillant, ligne à main, casier, etc. - devront alors être utilisés. Avec de tels engins il est beaucoup plus difficile d'obtenir des estimations de la biomasse absolue de la population car on n'a pas encore réussi à bien évaluer leur efficacité. Pour les sennes coulissantes et les chaluts pélagiques, le problème vient du fait que les espèces pélagiques à la capture desquelles ces engins conviennent manifestent une distribution très contagieuse. Il n'est donc guère rentable de les pêcher en des sites déterminés de façon aléatoire. Pour ces espèces pélagiques, les prospections acoustiques (cf. chapitre 3) offrent sans doute la méthode la plus efficace pour évaluer leur biomasse absolue. Dans ce cas, les opérations de pêche serviront essentiellement à déterminer les espèces détectées et à prélever des échantillons destinés à la mesure de paramètres biologiques.

Pour les engins tels que filets maillants, lignes, casiers, etc., le problème consiste à évaluer les volumes d'eau auxquels correspondent les captures et le coefficient de capturabilité de ces engins dans ces volumes. Pour les espèces à la capture desquelles ils conviennent, ces engins permettent toutefois de comparer leurs abondances relatives entre diverses sous aires ou époques. Dans la suite de ce chapitre, nous nous intéresserons essentiellement aux prospections au chalut; cependant la plupart des conseils relatifs aux techniques d'échantillonnage au chalut et à leur normalisation s'appliquent également aux autres engins.

En choisissant l'engin d'échantillonnage, il faudra tenir compte des impératifs ci-après:

Les engins devront être faciles à utiliser et à réparer. En général, les prospections par pêches exploratoires ne sont effectuées qu'occasionnellement ou périodiquement, mettons une fois par an. Lorsque les engins sont trop compliqués, l'équipage n'a pas suffisamment l'occasion de se familiariser avec leur utilisation pendant ce laps de temps limité. En particulier lorsque plusieurs navires, voire plusieurs pays, participent à une prospection, il importe d'utiliser des engins aussi simples que possible. Il n'y a pas lieu de choisir les plus grands ni les plus modernes: en effet, ce que l'on cherche, ce n'est pas à réaliser des captures record mais à effectuer le plus grand nombre possible de traits comparables sans risquer trop d'interruptions pour raisons techniques. (N.B. Il y a là une différence importante avec les essais de pêche expérimentale et les simulations de pêches commerciales dont l'objectif est de déterminer et d'évaluer les rendements maximaux que l'on peut obtenir avec des engins destinés à être utilisés commercialement).

On a intérêt à choisir des engins qui sont utilisés commercialement. Ceux-ci sont exempts des défauts qui risquent d'affecter initialement les filets de conception récente; il est en outre plus facile avec les premiers d'obtenir des pièces ou des filets de rechange.

Les engins doivent pouvoir être utilisés sur divers types de fond. Lors d'une prospection, il n'est pas toujours possible de choisir les meilleurs fonds chalutables puisque leur emplacement doit être prédéterminé aléatoirement. Il est donc probable que l'on endommagera les engins plus fréquemment qu'au cours des chalutages commerciaux. Afin d'éviter de perdre trop de temps à les réparer, on devra retenir des engins suffisamment solides.

Les chaluts devront convenir à la capture des espèces de poisson auxquelles on s'intéresse le plus. Même les chaluts de fond diffèrent profondément par leur taille, leur ouverture verticale, leur maillage, la présence de chaînes gratteuses, etc. Pour chaque espèce de poisson, les pêcheurs professionnels ont tendance à utiliser un chalut et un gréement particuliers. Toute modification même minime du plan d'un filet ou de son gréement est susceptible d'influencer grandement son efficacité relative à la capture des diverses

espèces. Des espèces très voisines peuvent manifester des vulnérabilités très différentes pour un engin donné. L'expérience d'un pêcheur du pays peut être utile à cet égard. Il y a également grand intérêt à expérimenter différents types de gréements avant d'entreprendre la prospection proprement dite.

2.7.2 Etalonnage des engins d'échantillonnage

Il s'agit là d'une question très importante. Un engin de pêche est un instrument d'échantillonnage si compliqué qu'il n'existe guère deux filets qui pêchent exactement de la même façon. La puissance de pêche du filet est fonction de son schéma de construction et de son gréement, du mode d'opération, de la taille du navire et enfin de l'expérience et de la valeur de l'équipage. Il est évident que le problème de l'étalonnage devient beaucoup plus complexe lorsque plus d'un navire intervient Les facteurs "taille du navire" et "expérience de l'équipage" sont difficiles à mesurer. On n'obtiendra sans doute jamais la perfection en cette matière; il faut cependant retenir des filets, des gréements et des modes d'opération aussi proches que possible pendant toute la prospection et les prospections ultérieures de façon à minimiser la variabilité liée au mode d'échantillonnage.

Une fois qu'on a choisi le filet, le gréement et la méthode de pêche appropriés, il faudra noter tous les détails les concernant dans le programme et le rapport de prospection. On trouvera au Tableau 4 un exemple des spécifications à relever.

Même s'il est possible de les améliorer du point de vue technique, il sera préférable de ne pas modifier la méthode ou l'engin au cours des prospections réalisées ultérieurement dans la même zone. En poursuivant les observations à l'aide des mêmes engins, même si leur efficacité est faible par rapport à celle d'engins plus modernes, on évitera d'avoir à déterminer des facteurs de conversion pour les anciennes données, et toutes les difficultés que cela implique.

2.7.3 Pêches comparatives

Il est parfois impossible de ne pas changer d'engin ou de méthode d'échantillonnage après un certain nombre de prospections, parce que par exemple les objectifs de la prospection ont pu changer. Il sera alors indispensable de comparer la puissance de pêche du nouvel engin à celle de l'ancien. Il faudra également effectuer des pêches comparatives lorsque deux navires participant à la même prospection ne sont pas en mesure, pour une raison ou pour une autre, d'utiliser des engins d'échantillonnage identiques dans les mêmes conditions. La détermination de facteurs de conversion fiables entre deux engins est une opération très fastidieuse. La variance inter-traits de chaque engin est si élevée qu'il faudra procéder à un très grand nombre de traits pour obtenir une estimation précise de leur efficacité relative.

La méthode la plus pratique consiste à effectuer avec les deux engins deux séries de traits alternés et à comparer, par paires, les captures entre les deux traits successifs. On peut réaliser de telles paires de traits en opérant avec deux navires de recherche pêchant parallèlement ou avec un seul navire pêchant alternativement avec chaque engin. La première méthode, parce qu'elle permet aux deux engins de travailler dans des conditions très proches et qu'elle facilite une pêche sur des concentrations de poisson très voisines, fournit en général des variances moindres; elle doit donc être préférée à la seconde chaque fois que cela est possible. Il faut opérer au moins une vingtaine de paires de traits pour obtenir un facteur de conversion significatif.

On peut réaliser des pêches comparatives dans le cadre de la prospection proprement dite. Lorsque plusieurs navires participent à une prospection, il est utile de prévoir de tels essais pour déterminer les différences éventuelles d'efficacité entre les navires.

Tableau 4

Description de l'engin et de la méthode de pêche

Engin de pêche	1.	Construction du filet y compris le nombre de mailles par pièce, leur maillage, leur diamètre et le textile employé. Ces informations sont normalement présentées au moyen d'un plan de l'engin.
	2.	Entremises: longueur, diamètre, matériau.
	3.	Corde de dos: longueur, diamètre, matériau.
	4.	Bourrelet: longueur, diamètre, matériau, division en parties, lest additionnel (chaîne) et sa répartition longitudinale.
	5.	Diabolo et faux bourrelets s'il y a lieu: description détaillée ou dessin.
	6.	Flotteurs: nombre, volume, matériau, points d'amarrage.
	7.	Plateaux élévateurs: nombre, taille, épaisseur, matériau, gréement.
	8.	Panneaux: dimensions, poids, matériau, forme.
Méthode de pêche	1.	Vitesse de drague.
	2.	Rapport longueur de fune:profondeur. Ce rapport sera fonction de la profondeur de pêche et de la nature du fond.
	3.	Fonds sur lesquels les diabolos ou les faux bourrelets sont utilisés.
	4.	Durée du trait.
	5.	Période de la journée où la pêche devra être effectuée.
	6.	Direction du trait par rapport aux courants de marée ou autres.

2.7.4 Position des chalutages

Les traits de chalut doivent être distribués de façon aléatoire dans la zone prospectée ou dans chaque strate étudiée, de façon à éviter tout biais dans les résultats. Les exemples suivants de distribution non aléatoire de l'échantillonnage, donnant lieu à des biais appréciables, s'observent très fréquemment:

a) Le patron de pêche, faute d'avoir reçu des instructions précises tend à choisir les fonds les plus faciles à travailler. Un tel comportement entraînera une sous estimation des espèces distribuées sur les fonds durs et, à l'inverse à la surestimation des espèces fréquentant davantage les fonds meubles.

b) Le patron de pêche tend à choisir les fonds qu'il pense, par expérience ou à la lecture de l'échosondeur, être plus riches. Ce procédé tend à surestimer l'abondance.

Outre ces deux sources évidentes de biais susceptibles d'entraîner une surestimation importante de l'abondance réelle du poisson, il faut éviter les biais moins faciles à déceler, entraînés par une sélection non aléatoire des positions des chalutages. En fait, si les stations sont disposées en quinconce, à intervalles fixes, elles seront certainement réparties de façon aléatoire par rapport à la distribution du poisson, bien que le choix de leur localisation ne le soit pas. Cette procédure présente l'avantage de permettre de répartir régulièrement dans le temps les opérations de pêche, ce qui est souvent apprécié au plan opérationnel par les chercheurs et l'équipage. Par ailleurs, elle réduit le risque d'erreur dans la transcription des positions sur les imprimés. Si l'on juge souhaitable d'éviter le faible risque de biais susceptible de découler de cette procédure, les strates pourront être subdivisées selon un réseau régulier en petites sous zones égales dont l'aire sera égale à environ 4 fois le carré de la précision de la position. Ces sous zones peuvent être numérotées et celles qui seront échantillonnées pourront être choisies à l'aide d'une table de nombres aléatoires, le nombre de sous zones à retenir dans chaque strate étant estimé comme il a été décrit dans la section 2.6.

Lorsqu'on prospecte une nouvelle aire, il est judicieux, avant de mettre le chalut à l'eau, d'explorer d'abord à l'échosondeur chaque position de chalutage. On effectuera un passage à l'échosondeur et on chalutera le long du même trajet si le fond est jugé assez régulier. Sinon, on déterminera, par la même méthode, un axe chalutable au voisinage, axe qui sera alors substitué au premier.

Il y aura sans doute lieu de modifier le schéma de prospection au cours des campagnes ultérieures pour tenir compte de l'information acquise à chaque campagne; sinon, le même réseau d'observations sera conservé pour toutes les prospections ultérieures. Si, en dépit des précautions décrites au paragraphe précédent, l'engin vient à être endommagé, il faudra choisir dans la même sous zone un autre axe de chalutage pour y répéter le trait. Si, après un temps de pêche insuffisant, le chalut croche et doit être viré sans être toutefois gravement endommagé, la prise devra être éliminée et le trait répété comme on l'a décrit ci-dessus. Si le filet a travaillé pendant la moitié au moins de la durée prévue, l'échantillon pourra être considéré comme acceptable; le résultat sera alors multiplié par le facteur voulu pour le rendre comparable aux traits de durée normale.

2.7.5 Heure et durée des traits

La capturabilité de nombreuses espèces de poissons diffère sensiblement de jour et de nuit. Si l'on prévoit de conduire la prospection 24 h sur 24, il faudra, avant de commencer les prospections, étudier les différences entre les rendements de jour et les rendements de nuit. Un grand nombre de traits (disons 40 au minimum) devra alors être effectué à la même position, sur plusieurs cycles nycthéméraux. Sur les petits navires, il n'est guère facile de travailler jour et nuit. Dans ce cas, il conviendra de limiter les chalutages pendant la journée et de définir alors clairement les heures limites entre lesquelles les chalutages seront effectués. Si les résultats sont destinés à être uniquement utilisés à des fins de surveillance à long terme de l'état des stocks, il suffira de corriger tous les

traits réalisés de jour en appliquant un facteur, obtenu comme décrit ci-dessus, de façon à les convertir en valeurs nocturnes. Si les données doivent être employées pour estimer l'abondance absolue, il faudra tenir compte dans la correction de l'heure du jour auquel le coefficient de capturabilité s'applique (voir section 6.3).

La durée du trait sera mesurée à partir du moment où le chalut est en pêche sur le fond (les freins du treuil étant serrés et le chien croché) jusqu'à ce que l'on commence à virer (chien largué). On a beaucoup débattu dans le passé de la durée optimale des traits. En termes simples, le choix se pose entre un petit nombre de traits longs et un plus grand nombre de traits courts. Les traits de courte durée supposent une plus grande perte de temps pour filer et virer le chalut et donc une réduction du temps disponible pour pêcher effectivement. Toutefois, compte tenu de la forte variance inter-traits, il est judicieux d'augmenter leur nombre au maximum. Cela augmentera la précision des estimations fournies par la prospection (cf. par. 2.5). Des traits de 30 minutes suffiront le plus souvent. Les traits courts présentent en outre l'avantage de permettre de déceler et de réparer plus rapidement les avaries subies par l'engin.

2.8 Echantillonnage des captures

Lors de l'échantillonnage des captures, il importe d'utiliser au mieux le temps et la main-d'oeuvre disponibles. Chaque trait devra être trié, les quantités enregistrées et les échantillons biologiques receuillis, avant que le trait suivant n'arrive à bord. En règle générale, les opérations de pêche ne doivent pas être interrompues par les activités d'échantillonnage. L'utilisation des navires de recherche est beaucoup trop onéreuse pour qu'on interrompe les opérations de pêche et de transfert de façon à permettre aux biologistes de finir de traiter les captures du trait précédent. Le principal objectif de la prospection consiste à estimer l'abondance de quelques espèces d'intérêt commercial. L'abondance de ces espèces peut en général être estimée de façon satisfaisante dans le laps de temps s'écoulant entre deux traits successifs. L'attention que l'on portera aux espèces d'intérêt secondaire devra être fonction du temps restant une fois triées les espèces importantes et avant que le trait suivant n'arrive à bord. Pour cela, il faudra s'efforcer de ne pas gaspiller le temps coûteux du navire à mesurer de grosses quantités d'espèces non commerciales.

L'estimation de la prise totale se réalise facilement en répartissant les espèces dans des paniers de même taille qui seront ensuite comptés. Si pour une espèce l'étendue de la distribution de taille est élevée, il sera avantageux de trier cette espèce par groupes de tailles dans des paniers distincts, puis de compter le nombre de paniers correspondant à chaque groupe. Lorsque le temps ne permet pas de trier les espèces, les poissons peuvent être triés par tailles, sans considération d'espèces. Ensuite, un petit nombre de paniers pour chaque catégorie de taille seront pris comme sous-échantillons une fois établi le nombre total de paniers correspondant à chaque catégorie de tailles présentes dans la capture.

La sélection des poissons destinés à servir de sous-échantillon pour déterminer la composition spécifique des captures qui n'ont pas été triées, ou encore pour mesurer la composition par tailles d'une prise qui a été répartie par espèces, doit être effectuée de telle sorte que le sous échantillon contienne une sélection aléatoire des captures. La première étape consistera à définir la taille du sous échantillon, c'est-à-dire le nombre de paniers que l'on devra traiter. Ces paniers seront alors disposés vides, puis remplis de fractions égales provenant de chacun des paniers constituant la capture que l'on désire sous échantillonner; ainsi, si la prise totale représente 20 paniers et qu'il a été décidé que la taille du sous échantillon serait de 4 paniers, un cinquième de chacun des 20 paniers devra être prélevé aléatoirement et versé dans chacun des 4 paniers vides. Si après cette première opération, le sous échantillon contient encore trop de poissons de certaines catégories destinées à être triées ou mesurées, les poissons contenus dans les 4 paniers pourront être refractionnés selon la même méthode.

Lorsque de très gros poissons (requins, par exemple) sont présents dans les captures, ils devront être retirés de la capture et enregistrés individuellement, avant que les sous-échantillons ne soient prélevés.

Les espèces particulièrement importantes seront triées au tout début du processus de sous-échantillonnage. Si par exemple la prospection porte sur le hareng, on s'efforcera de trier tous les harengs présents dans l'ensemble de la capture ou du moins dans le premier sous-échantillon. Les espèces moins importantes ne devraient être triées qu'aux deuxième ou troisième stades du sous-échantillonnage. Lorsqu'une espèce existe en deux catégories de taille nettement distinctes, les gros individus pourraient être prélevés dans l'ensemble de la prise ou à partir du premier sous-échantillon tandis que les petits individus le seraient au deuxième ou au troisième stade du sous-échantillonnage. Autant que possible, l'équipage devra participer au tri. L'objectif final de cet ensemble d'opérations est d'évaluer le poids total de la capture et celui de chaque espèce qui la compose. A cause de la difficulté qu'il y a à peser avec précision en mer, on a, en règle générale, intérêt à mesurer le volume des captures au moyen de paniers standard. Toutefois, pour convertir ultérieurement ces volumes en poids, il faudra dès que possible - de préférence à terre ou au port - peser quelques paniers de chaque espèce, et de diverses catégories de taille, et d'autres contenant plusieurs espèces, de façon à déterminer tous les facteurs de conversion volume/poids nécessaires. Il faudra tenir également compte de la possibilité pour les facteurs de conversion volume/poids de varier avec les saisons.

Pour chaque espèce capturée ou chaque groupe de taille prélevée dans la prise d'une espèce, le nombre total de poissons contenus dans le sous-échantillon choisi devra être mesuré et compté (cf. section 5.6 pour plus de détails sur les méthodes d'enregistrement). On ne peut souvent mesurer les autres paramètres biologiques (âge, stade de maturité, sexe, etc.) que sur un nombre plus réduit d'individus du sous-échantillon. Comme nombre de ces caractères dépendent de la longueur, la façon la plus performante d'estimer la valeur ou la distribution du paramètre étudié dans la population (capture par exemple) consistera à prélever des sous-échantillons stratifiés par longueurs, par exemple 5 poissons dans chaque intervalle de longueur. On trouvera dans Holden et Raitt (1974) des détails sur les méthodes de sous-échantillonnage à bord des navires de recherche; on se reportera au chapitre 5 du présent manuel pour le traitement ultérieur des échantillons stratifiés.

2.9 Programme et rapport de croisière

Avant de prendre la mer, il faudra toujours établir un plan détaillé de croisière. Une fois que le navire est en mer, souvent dans des conditions atmosphériques défavorables, le personnel à bord (y compris le chef de mission) risque de voir sa capacité à dresser des plans intelligents sérieusement réduite. L'enthousiasme dont chacun faisait preuve au laboratoire risque fort de s'évanouir alors rapidement. C'est pourquoi la préparation d'instructions précises et détaillées est le seul moyen d'assurer la bonne réalisation de la prospection. Un jeu d'imprimés spécifiant clairement quelles données doivent être recueillies et enregistrées est également des plus utiles à cet égard (chapitre 5).

Le programme de croisière doit donner une description détaillée des activités à réaliser et des méthodes à suivre. Si les méthodes de travail ont été normalisées, les mêmes instructions serviront aux prospections ultérieures. Il importe de prévoir des programmes de rechange, à réaliser en cas de perte d'engins ou si les conditions atmosphériques sont trop défavorables. Il faudra prévoir suffisamment de battement de façon à pouvoir faire face aux imprévus (mauvais temps, engins endommagés, panne de machine, etc). Suivant les conditions locales, on pourra prévoir de 20 à 30 pour cent du temps du navire en sus du temps minimum nécessaire si les conditions restaient toujours optimales. En dressant les plans, on indiquera l'ordre de priorité des différentes observations ou des secteurs à couvrir. Ainsi, les travaux essentiels seront réalisés même si une partie du temps vient à être perdue. Le programme de croisière devra également indiquer la liste du matériel et des instruments nécessaires pour la sortie. Cette liste sera normalisée si la sortie est une croisière de routine. Il est évident que la liste complète devra être vérifiée avant que le navire ne prenne la mer.

Pendant la campagne, il sera utile de tenir un cahier de mission. Comme le patron et le chef mécanicien, le chef de mission devra chaque jour consigner ses principales activités à bord. Il devra indiquer le nombre de stations réalisées, les difficultés rencontrées

et les pertes de temps qui en ont résulté, toutes les décisions prises ayant entraîné une modification du programme de croisière, toutes perte de matériel ou dommage subi, ainsi que les observations concernant les possibilités d'amélioration du matériel ou des méthodes, etc. Un tel journal facilite grandement la rédaction du rapport de croisière. Il faut évidemment aussi que tous les imprimés de relevé en routine des mesures soient remplis à chaque station de chalutage et d'hydrologie.

REFERENCES

Alverson, D.L. (ed.), 1971 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 1. Survey and charting of fisheries resources. FAO Fish.Tech.Pap., (102):80 p.

Doubleday, W.G., 1976 A pilot study of a survey design for a combined acoustic and otter-trawl groundfish survey. ICES C.M. 1976/B:30 (mimeo)

Elliott, J.M., 1971 Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Sci.Publ.Freshwat.Biol.Assoc.U.K., (25):144 p.

Gulland, J.A., 1975 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 5. Objectives and basic methods. FAO Fish.Tech.Pap., (145):29 p.

Hennemuth, R.C., 1976 Variability of Albatross IV catch per tow. ICNAF Res.Doc.,(76/VI/104)

Holden, M.J. et D.F.S. Raitt (eds.), 1974 Manual of fisheries science. Part 2. Methods of resource investigation and their application. FAO Fish.Tech.Pap., (115)Rev.1: 129 p.

Jones B.W. et J.G. Pope, 1973 A groundfish survey of Faroe Bank. Res.Bull.ICNAF, (10):53-61

Mackett, D.J., 1973 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 3. Standard methods and techniques for demersal fisheries resource surveys. FAO Fish.Tech.Pap., (124):39 p.

3. *PROSPECTIONS ACOUSTIQUES*

Les méthodes acoustiques constituent un outil important à la disposition de ceux qui ont à évaluer les ressources halieutiques. Comme les méthodes décrites aux chapitres 2 et 4 (pêches exploratoires et méthodes indirectes), les techniques acoustiques sont utilisées indépendamment de l'analyse des statistiques de pêche. Elles peuvent servir à évaluer le potentiel de stocks encore inexploités. En outre, les méthodes acoustiques permettent de prospecter une ressource beaucoup plus rapidement qu'on ne peut le faire par pêches exploratoires. Néanmoins, les techniques acoustiques ne fournissent pas d'informations sur la composition spécifique des échos pas plus que sur les paramètres biologiques et ne conviennent généralement pas à la plupart des stocks démersaux. Aussi a-t-on intérêt à les compléter par des pêches de contrôle.

3.1 Caractéristiques des équipements acoustiques

On a découvert vers 1930 que les sondeurs à ultrasons pouvaient également détecter le poisson. Ils furent alors rapidement utilisés pour la détection et la mesure de l'abondance du poisson. Bien que des échosondeurs et des sonars spécialement destinés à la recherche ainsi que divers modèles d'appareils automatiques de traitement des signaux aient été mis au point pour les applications à la recherche halieutique, les modèles classiques d'échosondeurs verticaux et de sonars (échosondeurs à balayage horizontal) sont encore à la base des équipements de prospection acoustique les plus utilisés. De même l'analyse des échogrammes reste probablement encore la méthode la plus courante d'analyse des mesures de prospections.

Un équipement de sondage horizontal ou vertical se compose essentiellement de quatre parties: (1) la console de commande et de visualisation, (2) l'émetteur, (3) le projecteur oscillateur (ou base), et (4) l'ampli-récepteur. La visualisation se fait en général sur un enregistreur à papier mais peut se faire également sur oscilloscope ou tube cathodique.

L'émetteur fournit l'énergie électrique qui, convertie en énergie acoustique par le projecteur est propagée dans l'eau. Dans la plupart des équipements, le même projecteur reçoit les échos réfléchis par les objets éloignés et le fond et les convertit en signaux électriques. L'ampli-récepteur amplifie et transforme ces signaux, les portant à un niveau et leur donnant la forme nécessaires pour leur visualisation.

Il existe une grande variété de modèles, de dimensions et de capacités différentes, d'enregistreurs sur papier pour échosondeurs. Ceux-ci ont deux fonctions principales: (1) enregistrer les échos en fonction de la profondeur et (2) déclencher l'émission. Le nombre d'impulsions par unité de temps est appelé fréquence de répétition des impulsions. Elle est essentiellement fonction de l'intervalle de profondeur représentée sur enregistreur. Les échos d'une première impulsion doivent revenir avant qu'une nouvelle émission puisse être déclenchée; sinon, il y aurait mélange des échos successifs et erreur lors de la visualisation de leur profondeur réelle (faux fond) (Edgell, 1935). L'intervalle de profondeur visualisé est fonction de la vitesse de rotation du stylet; sur la plupart des enregistreurs, celui-ci peut être modifié pour correspondre à certaines gammes de profondeur choisies. Pour une largeur donnée de papier, plus vite va le stylet et plus petit sera l'intervalle de profondeur représenté (et plus grand sera le pouvoir séparateur de l'instrument). Les échogrammes ne donnent guère d'informations sur la taille des échos; ils donnent plutôt une indication de la présence ou de l'absence d'une cible. L'amplitude des échos peut toutefois être affichée sur un tube cathodique, instrument qui, malheureusement, ne conserve pas de trace durable des échos.

Chaque fois que l'émetteur est déclenché par un contact mécanique ou une impulsion provenant d'un circuit électronique, il produit une impulsion électrique d'une durée, fréquence et puissance données. La portée maximale d'un échosondeur est fonction de sa puissance et de quelques autres paramètres. Il y a une limite à la puissance maximale que l'on

peut appliquer à un projecteur de dimensions données. Le pouvoir séparateur (en profondeur) de l'échosondeur est fonction de la durée de chaque impulsion sonore transmise (plus la longueur d'impulsion est courte et plus le pouvoir séparateur sera grand). Dans les échosondeurs courants, la longueur d'impulsion va de 0,1 à 50 m/sec avec des fréquences habituellement comprises entre 20 et 200 kHz.

Le projecteur transforme l'énergie électrique de l'émetteur en impulsions acoustiques, en produisant des vibrations de faible amplitude qui déplacent les particules d'eau dans un plan perpendiculaire à celui du projecteur, ce qui entraîne des variations de pression. De même, les fluctuations de pression entraînées par le retour de l'onde sonore sont décelées par le projecteur qui les convertit en impulsions électriques.

Le faisceau sonore émis par un échosondeur est souvent représenté par un cône mais la réalité est beaucoup plus complexe. Les projecteurs concentrent ou dirigent les sons dans un axe privilégié. On peut considérer que la surface du projecteur est constituée de nombreuses sources ponctuelles qui interfèrent les unes avec les autres de telle sorte que l'intensité sonore change suivant l'axe; elle est maximale le long d'un axe perpendiculaire à la surface du projecteur - appelé l'axe acoustique - où toutes les ondes sont en phase. La puissance transmise ainsi que la sensibilité de réception diminuent avec l'angle par rapport à l'axe acoustique. Cette variation est décrite par la fonction qui détermine le diagramme de directivité, $b(\theta, \phi)$; ce diagramme représente simplement la distribution de la puissance transmise ou de la sensibilité de la réception en fonction des angles θ (par rapport à l'axe acoustique) et ϕ (dans le plan du projecteur) et par rapport aux valeurs sur l'axe acoustique. On trouvera à la figure 4 un exemple de directivité d'un projecteur en fonction de l'angle ϕ. Pour un projecteur circulaire, le diagramme de directivité serait le même quelle que soit la valeur de ϕ. La largeur du faisceau est souvent définie par l'angle que fait le lieu des points où l'intensité est tombée de moitié (-3dB) par rapport aux valeurs sur l'axe acoustique. Pour une fréquence donnée, cette largeur dépend de la taille du projecteur. Les grandes bases à haute fréquence produisent des faisceaux étroits. L'énergie est alors plus concentrée le long de l'axe acoustique.

L'amplitude des échos est très faible par rapport à la puissance transmise. La première fonction de l'ampli-récepteur consistera donc à appliquer l'amplification voulue aux signaux reçus par le projecteur.

Presque tous les récepteurs sont équipés d'un contrôle de gain manuel qui permet d'augmenter ou de diminuer l'amplification du récepteur. La plupart d'entre eux sont également munis d'un contrôle quelconque du gain en fonction du temps ou de la profondeur; étant donné que le niveau de ces derniers diminue avec la portée, ces dispositifs sont importants pour la visualisation et le traitement quantitatif des signaux. Il peut s'agir soit simplement d'un circuit destiné à supprimer ou à réduire le niveau sonore des échos proches de la surface et notamment ceux qui ne proviennent pas d'êtres vivants (comme la turbulence des vagues superficielles par exemple) soit d'un modificateur du gain en fonction du temps (TVG) qui compense la baisse des signaux entraînée par la dispersion géométrique et l'absorption de l'impulsion sonore.

La plupart des enregistreurs sont également dotés d'un dispositif permettant d'isoler le fond. Ce système (souvent appelé "ligne blanche") transforme l'écho du fond en une ligne fine sur l'enregistreur en effaçant les signaux supérieurs à un certain seuil (principalement du fond) pendant un temps donné immédiatement après leur réception.

3.2 Notions de base

Les méthodes acoustiques sont fondées sur le fait que la quantité de son réfléchie par les cibles que forment les poissons est fonction de l'abondance de ces derniers. Dans l'eau, la vitesse de propagation du son varie avec la température, la salinité et la profondeur, mais reste généralement comprise entre 1 400 et 1 500 m/sec. A mesure que le son se propage, son intensité, c'est-à-dire l'énergie par unité de surface dans l'onde sonore, diminue par étalement géométrique et absorption. Ainsi, à une distance donnée (r) du projecteur,

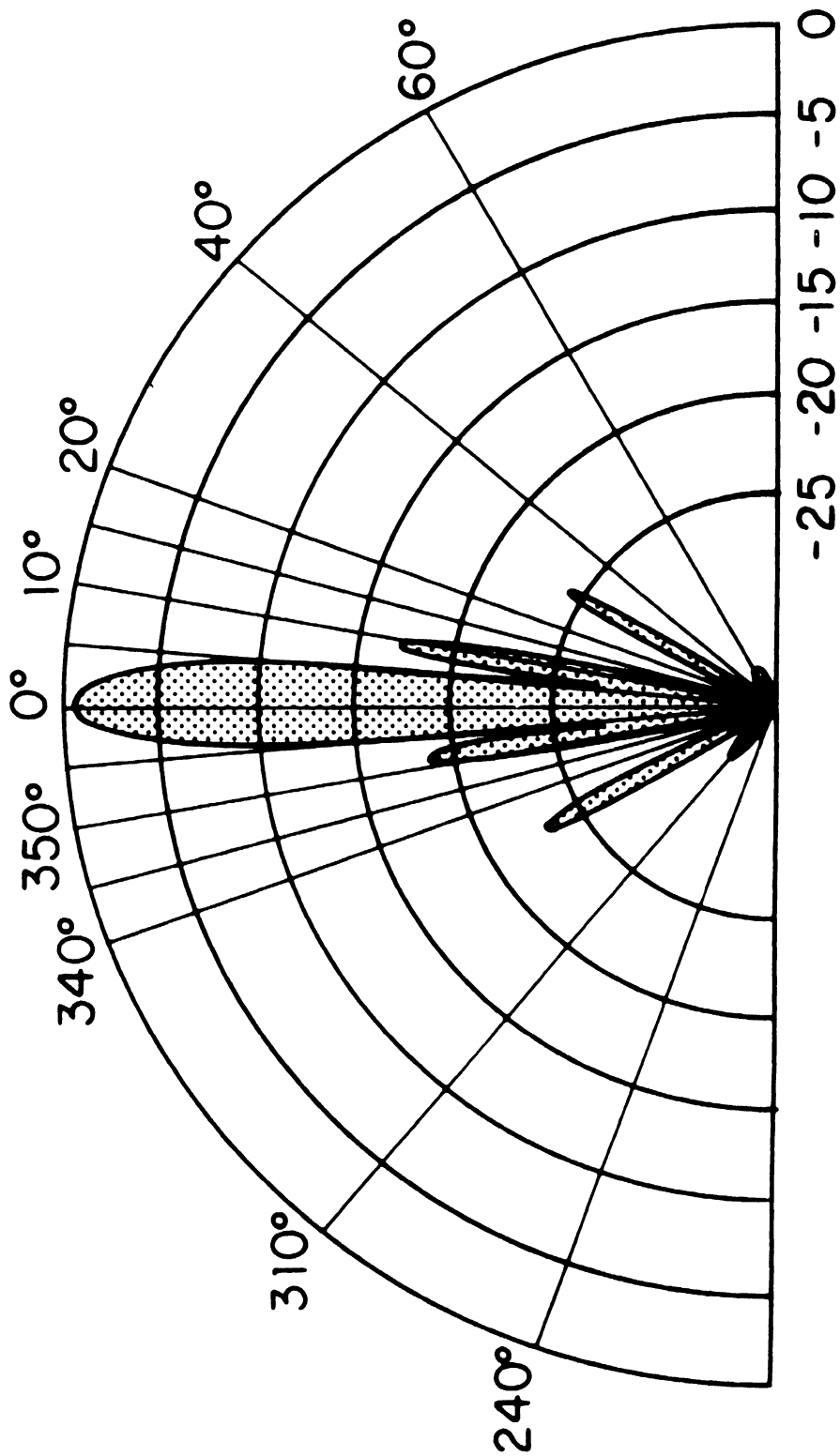


Figure 4 Exemple de diagramme de directivité d'un projecteur

l'intensité sonore (I_r) sera donnée par la relation:

$$I_r = \frac{I_1 \, 10^{-\alpha R}}{R^2} \qquad \ldots\ldots 1$$

où I_1 est l'intensité à une distance, prise comme unité, du projecteur (source sonore) et le coefficient d'atténuation, lequel est fonction de la fréquence du son ainsi que de la température et de la salinité de l'eau. Lorsque le son frappe une cible, l'intensité du son réfléchi est proportionnelle à l'intensité du son incident, c'est-à-dire:

$$I_r = kI_i \qquad \ldots\ldots 2$$

où I_r est l'intensité du son réfléchi à une unité de distance de la cible, I_i est l'intensité du son incident et K une constante dont la valeur dépend des propriétés réfléchissantes de la cible.

Lorsque le son réfléchi revient au projecteur, il faiblit encore par établement géométrique et absorption. Il en résulte que l'expression donnant l'intensité de l'écho résultant, I_e, mesurée sur le projecteur est:

$$I_e = \frac{kI_1 \, 10^{-2\alpha R} \, b^2 (\theta, \phi)}{R^4} \qquad \ldots\ldots 3$$

où $b^2 (\theta, \phi)$ est un facteur qui dépend du diagramme de directivité du projecteur et les autres symboles correspondent à ceux définis dans les équations (1) et (2) ci-dessus. Le facteur relatif à la directivité du projecteur est égal à 1,0 sur l'axe acoustique et inférieur à 1,0 pour tous les autres angles. L'équation (3) est souvent exprimée en décibels, unités égales à 10 fois le rapport des intensités exprimé en unités logarithmiques, c'est-à-dire:

$$10 \log_{10} (I_e/I_1)$$

En décibels (dB), l'équation sonar s'écrit:

$$EL = SL + TS - 40 \log R - 2\alpha R + 20 \log b (\theta, \phi)$$

où EL est l'intensité de l'écho, SL l'intensité d'émission ($10 \log I_1$) et TS le pouvoir de réflexion de la cible ($10 \log k$).

Le pouvoir de réflexion de la cible est fonction de la taille de celle-ci et de ses caractéristiques réfléchissantes. Le pouvoir de réflexion des poissons est fonction de leur taille (figure 5) et varie également selon les espèces (en particulier selon qu'elles aient une vessie natatoire ou non), ainsi que suivant l'orientation du poisson et cela de façon très appréciable.

3.3 Méthodes d'estimation de l'abondance

Il existe essentiellement deux méthodes de traitement des données acoustiques: (1) le dénombrement des échos et (2) la mesure de leur amplitude. Les méthodes de comptage dépendent du pouvoir séparateur de l'équipement et de la possibilité de dénombrer les cibles individuelles. Les techniques de mesure de l'amplitude sont fondées sur le principe selon lequel l'intensité du son réfléchi (en fait le carré de l'amplitude) est directement proportionnelle, pour une espèce et une taille données de poisson, à l'abondance du poisson (sous réserve que les corrections appropriées soient faites pour tenir compte de la portée). La constante de proportionnalité devra incorporer les paramètres de l'équipement acoustique

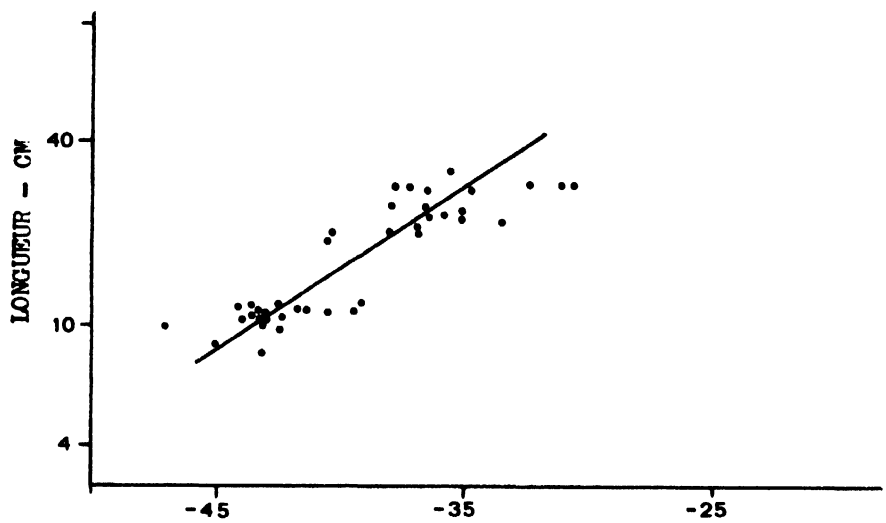


Figure 5 Observations avec un sondeur de 120 kHz du pouvoir maximum de réflexion du hareng en fonction de la longueur du poisson (d'après Nakken et Olsen, 1973)

et le pouvoir moyen de réflexion de ou des espèces prospectées. Les techniques d'analyse des mesures fournies par ces deux méthodes peuvent porter sur les échogrammes, les images sur un oscilloscope ou faire intervenir un équipement plus élaboré de traitement automatique des signaux.

3.3.1 Analyse des échogrammes

Les méthodes d'estimation de l'abondance les plus simples et les plus largement utilisées sont basées sur l'analyse des échogrammes. On peut obtenir par ces méthodes de nombreuses informations sur l'abondance et la distribution des stocks de poisson, même si une grande partie de l'information relative à l'amplitude des signaux est perdue lors de l'enregistrement sur papier. Il importe d'apprécier les limites et les sources d'erreur de cette méthode.

3.3.1.1 Dénombrement des échos

Lorsque la densité du poisson est faible ou que ces derniers ne sont pas trop éloignés de la surface, il est possible d'enregistrer séparément chaque poisson sur la bande du sondeur. Dans ce cas, une mesure relative à l'abondance pourra être obtenue en dénombrant

simplement le nombre de traces par unité de distance. Il faut toutefois être prudent dans l'interprétation de ces données car le volume échantillonné est non seulement fonction de la profondeur mais aussi des relations qui existent entre la profondeur, le pouvoir de réflexion des espèces détectées et les caractéristiques de l'échosondeur en ce qui concerne son niveau global de gain et la fonction de compensation du gain en fonction du temps (TVG). Ces difficultés sont nettement atténuées lorsque l'échosondeur est muni d'un bon TVG. On sait que la correction qu'il faut apporter dans le dénombrement des échos suivant leur profondeur est: 40 log R + 2αR lorsque l'équipement est doté d'un TVG, cette correction est faite automatiquement.

Les premières estimations de l'abondance absolue peuvent être déduites du dénombrement des échos, dans la mesure où l'on peut évaluer la dimension de la surface échantillonnée à partir de la longueur des échotraces sur l'enregistrement. Si l'on suppose que tous les poissons détectés se trouvent dans une couche mince à une profondeur inconnue et que le faisceau sonore a une section circulaire, l'aire éclairée à cette profondeur sera également circulaire. Lorsque le navire passe au-dessus d'un seul poisson, que l'on peut considérer comme cible ponctuelle stationnaire, le poisson sera enregistré sur une certaine distance, parallèle au déplacement du navire, à travers l'angle solide du faisceau sonore. Si le poisson est situé immédiatement sous le navire, la longueur de la trace sera égale au diamètre de l'angle sonore à la profondeur où se trouve le poisson, mais si le poisson est situé de part ou d'autre de la verticale du navire, la trace sera une corde et donc plus courte que le diamètre du faisceau sonore; lorsque le poisson est au bord du faisceau sonore, sur la perpendiculaire au déplacement du navire, la trace se réduira à un point.

Si l'on suppose que le poisson est distribué au hasard par rapport au déplacement du navire, on montre que la longueur moyenne $\bar{F}$ de la trace faite par un seul poisson à travers le champ circulaire de diamètre D est:

$$\bar{F} = \frac{\pi D}{4}$$

Par conséquent, le diamètre du champ $D = 4\bar{F}/\pi$ pourra être calculé à partir de la longueur moyenne $\bar{F}$ des traces, qui de son côté pourra être déterminée à partir de la longueur moyenne $\bar{p}$ des échotraces sur l'enregistreur étant donné que l'on a:

$$\bar{p}/\bar{F} = s/S$$

où s est la vitesse d'avancement du papier enregistreur et S la vitesse du navire.

L'aire éclairée par le faisceau pendant un intervalle de temps donné peut être calculée directement; c'est le produit du diamètre estimé D du faisceau par la vitesse S du navire; l'aire balayée et le nombre d'échotraces enregistrées pendant cet intervalle de temps donnent une estimation de la densité absolue (nombre de poissons par unité de surface).

En pratique, cette méthode rencontre de sérieuses difficultés. Il est évident que la valeur réelle de $\bar{F}$ est fonction du diagramme de directivité du projecteur $b(\theta,\phi)$ du pouvoir de réflexion du poisson et du niveau du seuil de détection (entre échos détectables et échos non décelables). De façon générale, une certaine proportion de poissons aura en tant que cibles un pouvoir de réflexion insuffisant pour pouvoir être détectés. Aussi, les estimations seront-elles biaisées en faveur des gros poissons et si l'échosondeur n'est pas muni d'un bon TVG, cette distorsion croîtra avec la profondeur. En outre, le rapport entre la longueur moyenne de la trace et l'aire balayée est évidemment plus compliqué dans le cas de faisceaux elliptiques et rectangulaires que dans celui des faisceaux circulaires. Toutefois, on peut tenir compte, d'une façon ou d'une autre, de la plupart de ces facteurs au cours de l'analyse.

3.3.1.2 Classement visuel des échotraces

Cette méthode consiste à donner, en fonction du noircissement sur le papier enregistreur, des valeurs de densité relative aux diverses parties de l'échogramme. Une échelle

simple a été donnée par Forbes et Nakken (1972); elle classe les densités des échogrammes en 4 gradations: (1) traces diffuses marquant tout juste le papier; (2) traces diffuses entre le noir et le blanc; (3) de dense à noir et (4) très dense avec des saturations déclenchant le dispositif de ligne blanche. Cette méthode est utilisée avec le plus de succès lors des prospections combinées acoustique/pêches exploratoires, car les pêches peuvent alors fournir les informations voulues sur l'abondance relative correspondant aux différentes gradations des échotraces.

Un système de gradation en quatre catégories présente l'avantage de la simplicité et d'une subjectivité relativement minime. Toutefois, il souffre d'un manque de précision car on ne peut affecter aux densités réelles que quatre valeurs seulement. Or les premières peuvent varier entre moins d'un poisson par 10 000 m^3 et plus de 100 individus par m^3. Des systèmes de classification plus complexes peuvent être élaborés et, si les qualifications et l'expérience de l'observateur sont bonnes, la précision obtenue peut être surprenante. Les résultats d'une expérience réalisée à l'occasion du cours de formation FAO/NORAD sur la détection et l'estimation de l'abondance du poisson qui s'est tenu à Cochin (Inde) en novembre 1973, en donnent un exemple (Figure 6). Les stagiaires avaient été invités à examiner différentes portions d'échogrammes et à leur attribuer des valeurs de densité relative. Le coefficient de corrélation entre les gradations optiques des enregistrements établies par les étudiants et les mesures de densité relative effectuées à l'écho-intégrateur Simrad QM dépassait 0,9.

L'une des principales difficultés que pose la gradation optique des enregistrements, vient du fait qu'ils sont grandement affectés par l'état et les caractéristiques de l'échosondeur. L'exemple donné à la figure 7 montre qu'une trace de la deuxième catégorie peut passer dans la quatrième catégorie après modification du gain de l'échosondeur et de la "ligne blanche". On observe les mêmes effets si les caractéristiques de fonctionnement de l'échosondeur évoluent dans le temps. En outre, les échos obtenus à différentes profondeurs et les types différents de traces (par exemple des couches par rapport aux bancs) sont difficiles à comparer. Il faut aussi noter que, pour les échos multiples, la correction TVG appropriée est: $20 \log R + 2\alpha R$.

3.3.1.3 Dénombrement et taille des bancs

Un simple dénombrement des bancs par unité de distance parcourue fournit un indice relatif de l'abondance du poisson. On peut améliorer ces estimations d'abondance en tenant compte de la dimension des bancs. Il est difficile de déterminer les dimensions veritables des bancs à partir d'un seul passage car leur forme horizontale peut varier considérablement et le nombre de sections possibles est infini. Toutefois, on peut obtenir une mesure non biaisée de l'abondance relative du poisson présent dans les bancs en mesurant les proportions respectives des radiales occupées par les bancs. Ainsi, si 10 % de la distance parcourue sur une radiale correspondait à des bancs, on peut en déduire que quelles que soient la taille et la dimension de chaque banc, 10 % de la superficie totale est occupé par ceux-ci. Les volumes relatifs occupés par les bancs au cours de prospections consécutives peuvent être déterminés en faisant la somme des produits de l'épaisseur verticale moyennes observée pour les bancs et les proportions correspondantes sur chaque radiale.

Le dénombrement des bancs combiné à la mesure de leur taille est particulièrement intéressant pour les prospections faites au sonar sur des bancs pélagiques situés dans la couche superficielle et par conséquent difficiles à observer par détection verticale. Avec les équipements sonar, les dimensions horizontales sont faciles à mesurer alors que les épaisseurs verticales ne le sont pas (Smith, 1970). Les méthodes de dénombrement et de mesure de la taille des bancs au sonar sont par exemple utilisées en routine pour la prospection du stock d'anchois au large de la Californie et du Mexique (Hewitt et al., 1976).

Plusieurs difficultés techniques restent à résoudre avant que les mesures de fréquence et de taille des bancs puissent être traduites en estimations de biomasse absolue du stock; les méthodes et l'équipement utilisés pour ces prospections sont trop complexes pour être accessibles à nombre de projets de prospection de biomasse. Toutefois, par rapport aux

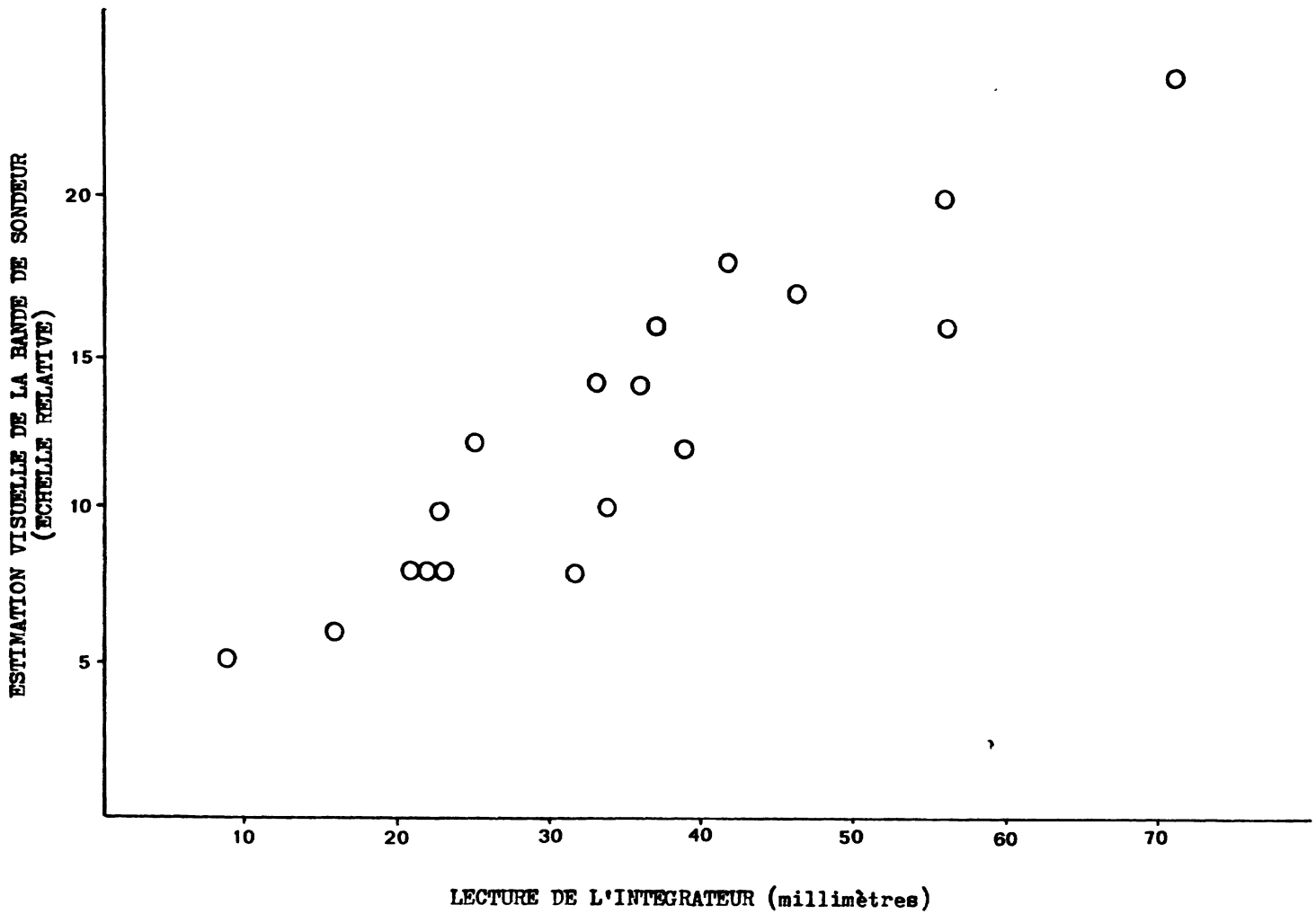


Figure 6 Comparaison des estimations optiques des échogrammes et des mesures correspondantes de l'intensité intégrée des échos

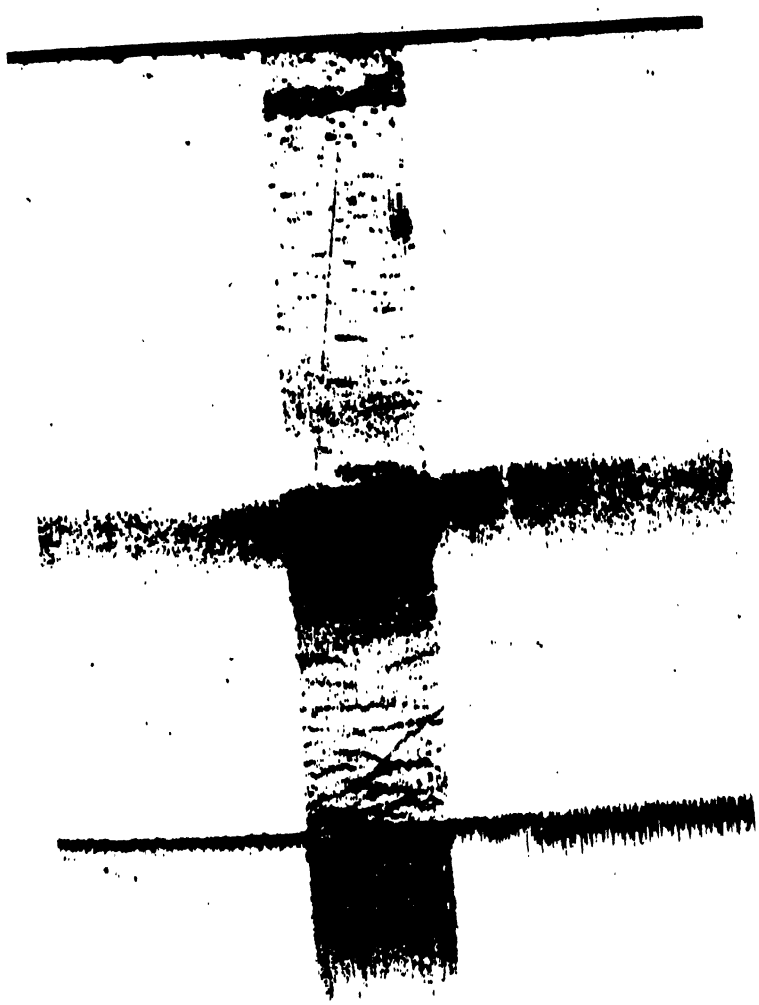


Figure 7 Effets du réglage du gain et de la "ligne blanche" sur l'apparence des enregistrements

méthodes de détection verticale, l'emploi du sonar pour détecter et estimer la fréquence et la taille des bancs présente des avantages évidents lorsque ceux-ci se trouvent dans la couche superficielle à une profondeur inférieure à celle du projecteur. Il peut aussi présenter des avantages lorsque l'on a des raisons de craindre que les bancs de poisson pélagique, dérangés par le bruit du moteur ou les vibrations de l'hélice, ne s'écartent de la trajectoire du navire à l'approche de celui-ci.

On peut, dans ce cas, obtenir une approximation de la biomasse du stock en utilisant le sonar pour compter les bancs et estimer la distribution de fréquence de leur taille. Pour convertir ces données en biomasse et déterminer la composition par espèces de la ressource, il faudra, au cours de la prospection initiale au sonar, pêcher à la senne des bancs de tailles déterminées.

3.3.2 Analyse des images de l'oscilloscope

L'amplitude des échos peut être mesurée beaucoup plus précisément avec un oscilloscope que sur une bande de sondeur. On peut utiliser un oscilloscope pour dénombrer les cibles individuelles de façon beaucoup plus exacte car on peut procéder plus correctement par tranches de profondeur et déterminer le volume échantillonné avec plus de précision. En outre, l'amplitude de chaque écho peut être mesurée. Ces amplitudes sont fonction à la fois de la taille des cibles et de leur localisation par rapport au diagramme de directivité du projecteur. Cependant, on peut isoler les effets du diagramme de directivité, pour ne s'intéresser qu'à la distribution de fréquence de la puissance des échos, laquelle peut fournir des informations sur la taille du poisson (Forbes et Nakken, 1972; Ehrenberg, 1972). Dans certains cas, il est facile de distinguer les gros individus des petits et les estimer séparément à partir de l'amplitude de leurs échos respectifs. On a par exemple recensé ainsi la population de saumon sockeye (Oncorhynchus nerka) dans le lac Washington (Etats-Unis) (Thorne et Dawson, 1974).

Comme on l'a vu précédemment, le carré de l'amplitude de l'écho est directement proportionnel à la densité du poisson. L'oscilloscope visualise l'amplitude et cette information peut, dans le cas de cibles multiples, servir à estimer la densité du poisson avec plus d'exactitude qu'à partir d'un échogramme. Cette méthode a été utilisée par Truskanov et Scherbino (1966) pour estimer l'abondance du hareng atlanto-scandinave. Elle convient particulièrement bien aux distributions assez homogènes, comme les couches étendues de poisson, mais peut donner lieu à de graves erreurs lorsque les répartitions sont hétérogènes. En effet, il est malaisé d'estimer la moyenne des carrés des amplitudes lorsque l'image est irrégulière, compte tenu du fait que l'oscilloscope ne conserve pas l'image ce qui interdit de répéter les mesures. Le problème se trouve réduit lorsque les données sont enregistrées au préalable sous forme analogique sur bande magnétique (Thorne et al., 1972)

3.3.3 Equipement de traitement automatique des signaux

Il existe des équipements qui permettent de dénombrer les échos et de mesurer leur amplitude automatiquement. Dowd (1967, 1974), Craig et Forbes (1969) et Carpenter (1967) décrivent des systèmes de mesure du nombre d'échos qu'ils ont utilisé pour des prospections acoustiques. Le système automatique le plus fréquemment employé est l'écho-intégrateur qui mesure, élève au carré et somme les carrés de l'amplitude des échos. Les écho-intégrateurs permettent d'estimer la densité du poisson, que les cibles soient individuelles, multiples, ou individuelles et multiples. Pour en déduire la valeur absolue de la densité, il faut disposer d'informations sur le pouvoir moyen de réflexion des cibles. L'écho-intégrateur le plus largement employé est le modèle Simrad QM, qui est un système analogique. Midttun et Nakken (1973) et Johannesson (1975) donnent des exemples de leur utilisation en prospection acoustique. La stabilité (c'est-à-dire la régularité des mesures et de leur traitement) ainsi que la "gamme dynamique" (c'est-à-dire la gamme d'amplitude des échos mesurés avec exactitude) peuvent être améliorées en ayant recours à des systèmes digitaux, comme l'écho-intégrateur digital récemment élaboré à Aberdeen (Ecosse) (Simmonds, 1975). Le système le plus complet est couplé à un ordinateur digital (Thorne, 1973). Le système digital d'acquisition et de traitement des données hydro-acoustiques actuellement utilisé à l'Université

de Washington emploie un ordinateur PDP 11/45 (Digital Equipment Corporation) et peut donner simultanément des estimations de la densité du poisson pour un nombre de tranches de profondeur pouvant atteindre 50, tout en effectuant des mesures de la puissance des échos ou en traitant les données en routine (Thorne et al., 1977).

3.4 Considérations sur l'échantillonnage

Toute prospection acoustique se propose en général d'aboutir à une estimation de la biomasse totale de poisson présente dans une zone certaine ou encore de la taille d'un stock donné en vue d'aménager la pêcherie qu'il supporte. Etant donné que le volume d'eau observé par l'échosondeur ne peut représenter qu'une petite fraction du volume total, toute estimation de l'abondance totale dans la zone sera évidemment affectée par les variations de la distribution du poisson, ainsi que par l'incertitude inhérente à l'équipement ou à la méthode de prospection. Les hypothèses relatives au système biologique prospecté, en particulier celles qui portent sur la disponibilité du stock vis-à-vis de l'engin acoustique (poissons trop proches du fond ou de la surface), sur sa composition spécifique et sur les variations saisonnières de la densité ponctuelle entraînées par les schémas de migration, constituent un autre facteur d'incertitude, sans doute moins évident mais au moins aussi important.

Les causes d'incertitude peuvent être classées en trois catégories. La première est d'ordre statistique et résulte de la répartition hétérogène du poisson dans la zone prospectée. L'erreur qui en résulte peut être réduite en intensifiant et en distribuant convenablement l'effort de prospection. Les deux autres types d'incertitude sont systématiques; elles introduisent donc un biais. Elles ne sont pas directement réduites par un effort accru de prospection et ne peuvent être évaluées par les méthodes statistiques. La première provient de la détermination de la valeur réelle des paramètres acoustiques, comme par exemple le pouvoir de réflexion des cibles; la seconde résulte de la disponibilité du poisson vis-à-vis de l'équipement acoustique et des caractères biologiques du stock prospecté.

3.4.1 Considérations d'ordre statistique

Toute estimation d'une population est basée sur l'estimation de la densité moyenne du poisson à partir d'un échantillon de mesures de densité. On peut donc obtenir une mesure de la variabilité de cette densité et, par là, du degré de confiance de notre estimation de la densité moyenne à partir de l'étude de la variabilité des mesures de densité du poisson dans l'échantillon. Ces mesures de densité sont normalement exprimées en valeurs absolues ou relatives (selon qu'on a utilisé l'une ou l'autre des méthodes décrites à la section 3.3), par unité de superficie ou de distance couverte lors des radiales acoustiques. La densité moyenne et sa variance peuvent être estimées à partir des équations ci-après:

$$\text{densité moyenne } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

où x_i représente les estimations de la densité du poisson (par exemple la densité sur chaque radiale) et n, le nombre d'estimations de la densité du poisson

$$\text{Var}(\bar{x}) = \frac{s^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2}{n\,(n-1)}$$

L'estimation du nombre total de poissons, N, dans la zone sera égale à la densité moyenne estimée multipliée par le volume (V) de la zone, soit $\hat{N} = V\bar{x}$; l'intervalle de confiance (à 95 %) de l'estimation de la population peut être calculée à partir de la formule:

$$\text{I.C.} = \hat{N} \pm (t,95,dl)\,(V)\sqrt{\text{Var}\,\bar{x}}$$

où t,95,dl est la valeur de la distribution de "t" correspondant à l'intervalle de confiance à 95 % et à n-1 degrés de liberté.

Lorsqu'on se trouve en présence de plusieurs zones de densités différentes, le nombre total N_t ou poids de poisson peut être obtenu par sommation:

$$\hat{N}_t = \sum_{j=1}^{m} V_j \bar{x}_j$$

où m est le nombre de zones et V_j et $\bar{x}_j$, respectivement, le volume et la densité moyenne, pour la zone j.

La variance de l'estimation de l'abondance totale du poisson est:

$$\text{Var } \hat{N}_t = \sum_{j=1}^{m} V_j^2 \text{ Var}(\bar{x}_j)$$

On peut de même calculer les limites de confiance de l'estimation:

$$\text{I.C.} = \hat{N}_t \pm (t,95,dl) \sqrt{\text{Var } N_t}$$

où $dl = \sum_{j=1}^{m} (n_j - 1)$

Les données acoustiques ne répondent généralement pas à toutes les conditions théoriques sur lesquelles sont fondées les équations ci-dessus; en effet, les données sont normalement recueillies en série, le long de trajectoires prédéterminées, si bien qu'elles ne sont pas complètement indépendantes; par ailleurs les densités de poisson suivent souvent des distributions log-normales (figure 8). Néanmoins, la densité moyenne est distribuée normalement, même lorsque les observations individuelles suivent une distribution log-normale; les corrélations à l'intérieur des séries d'observations ne risquent guère en fait de poser de problèmes graves. D'autres considérations statistiques relatives à la conception des prospections et à l'analyse des mesures sont données par Gulland (1975), Bazigos (1975, 1976), MacNeill (1971), Shotton et Dowd (1975), Thorne et al. (1971) et Mathisen et al. (sous presse).

3.4.2 Erreurs systématiques (biais)

Comme il a été expliqué précédemment, il existe deux sources d'erreur systématique ou biais: celles attachées aux paramètres acoustiques et celles qui résultent d'erreurs dans les hypothèses relatives à l'environnement dans lequel nous opérons. Les erreurs concernant les paramètres acoustiques incluent les erreurs d'étalonnage de l'équipement acoustique ainsi que les erreurs de mesure de la puissance de réflexion de la cible prospectée ou que l'on croit prospecter. Un bon étalonnage du système est plus important car l'exactitude des estimations relatives comme les évaluations absolues seront directement affectées par l'inexactitude et le manque de stabilité de l'étalonnage du système acoustique. On pourra par contre, procéder à une estimation de l'abondance relative notamment pour des évaluations annuelles successives, sans connaître précisément le pouvoir de réflexion des cibles.

Parmi les autres causes éventuelles d'erreur de ce type on peut citer les bruits provoqués par des sources non biologiques (bruit de l'hélice ou du générateur électrique). Les équipements d'écho-intégration sont particulièrement sensibles à ce type de problèmes.

Le second type d'erreur englobe toutes les sources d'incertitude portant sur la composition par espèces, la disponibilité du poisson vis-à-vis de l'engin acoustique et les questions d'identité de stocks et de comportement migratoire. Les techniques acoustiques ne permettent pas d'identifier directement les espèces mais fournissent souvent des indices qui, avec de l'expérience, peuvent être utilisés. Dans certains cas, les données de capture

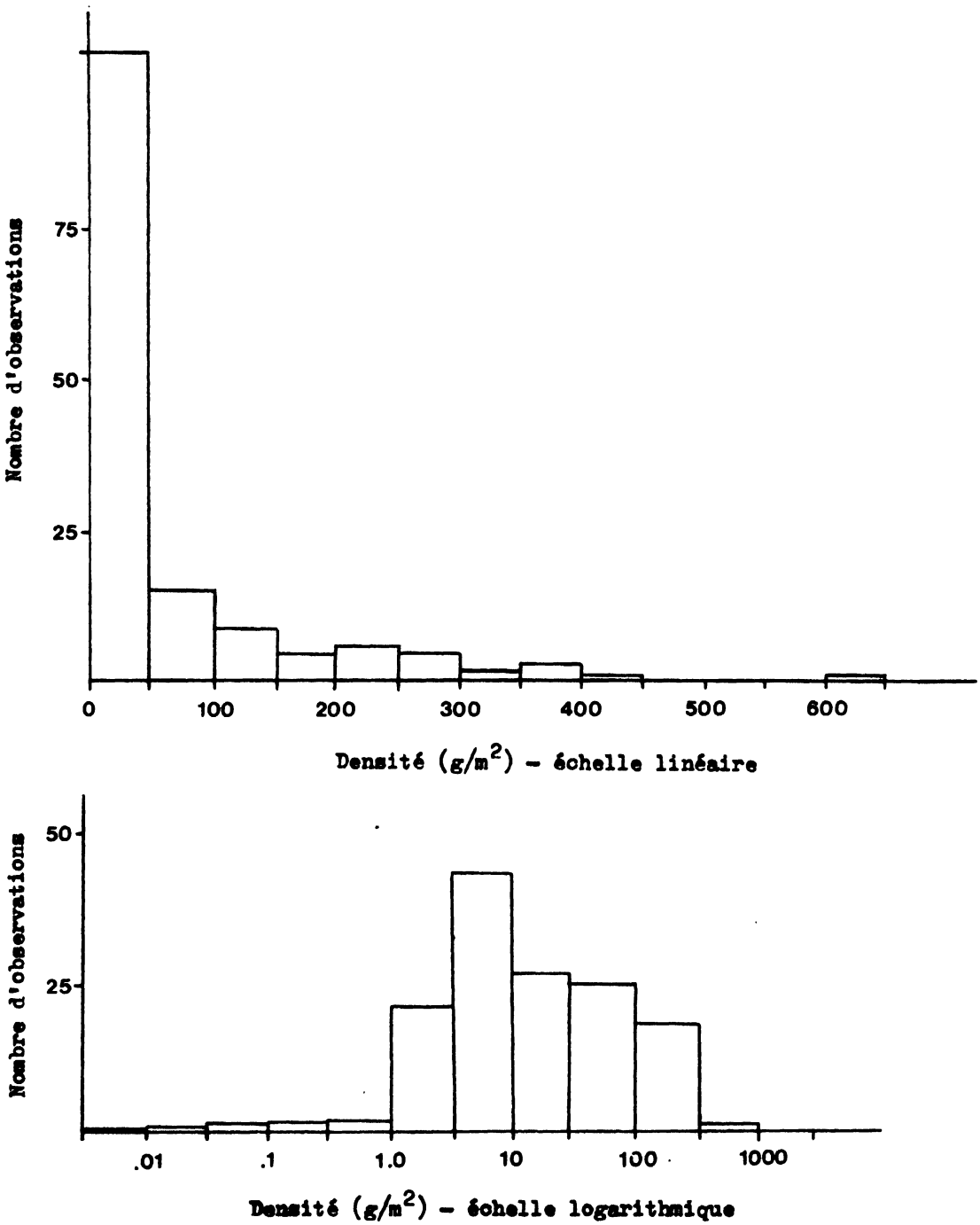


Figure 8 Distribution de fréquence des observations sur la densité du hareng dans la partie nord du Puget Sound

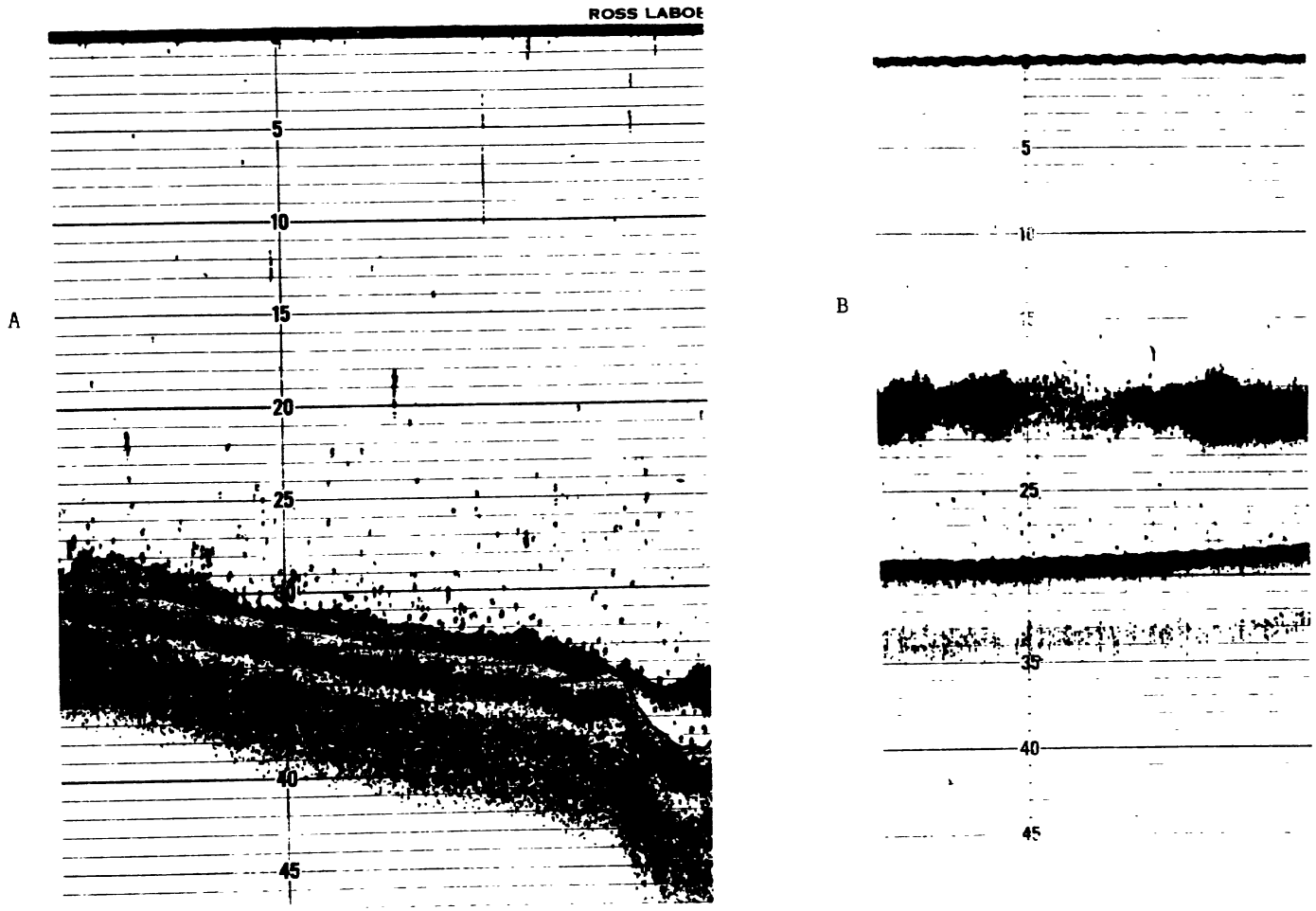


Figure 9 Echogrammes montrant une couche hétérogène composée de harengs et de jeunes colins à Auke Bay, Alaska, le 14 janvier 1975, l'après-midi (A) et le soir (B), profondeurs en brasses

d'une pêcherie commerciale peuvent fournir des renseignements sur l'identité des espèces. Néanmoins, en règle générale, il est indispensable de contrôler directement les cibles qui sont à l'origine des échos réfléchis. Cela l'est particulièrement aux premiers stades d'une étude, lorsque l'on ne dispose pas des connaissances de base sur la distribution et les caractéristiques des échotraces. Même si l'on dispose des moyens nécessaires à cet échantillonnage, des questions peuvent toujours se poser, car la sélectivité des engins varie selon les espèces et, à l'intérieur d'une espèce donnée, avec la taille des individus.

La deuxième question qui se pose dans ce contexte porte sur le degré de disponibilité de l'espèce vis-à-vis de l'équipement acoustique. Les équipements acoustiques peuvent ne pas détecter le poisson près du fond et la plupart des équipements ne sont pas en mesure de prospecter les concentrations proches de la surface. Or un nombre étonnamment grand d'espèces pélagiques manifeste des tendances démersales (figure 9); par exemple, les prospections acoustiques continues conduisent souvent à des estimations d'abondance supérieures la nuit parce que le poisson se tient près du fond pendant la journée.

Le dernier ensemble de problèmes, et peut-être le plus difficile, réside dans la question de l'indentité du stock et de son comportement migratoire. Une prospection acoustique vise en général à évaluer la taille d'une ressource en vue de planifier le développement et l'aménagement d'une pêcherie. Cet aménagement ne sera entièrement efficace que s'il porte sur l'ensemble du stock unitaire. Si l'identité des stocks individuels et leurs schémas de migration sont insuffisamment connus, des problèmes pourront se poser, même lorsqu'on dispose d'évaluations exactes de l'abondance de l'espèce dans différents secteurs et à différentes époques. Ainsi, on peut concevoir que le même stock soit exploité en deux périodes différentes et dans deux zones, par exemple que l'exploitation porte sur les individus hivernant dans l'un des sites, puis sur les reproducteurs sur un autre fond de pêche, cela sans que l'on ait pris conscience de la chose. Dans ce cas, même si le taux d'exploitation apparente est relativement faible dans chacune des zones, les prélèvements totaux représenteront par rapport au stock un niveau beaucoup plus substantiel. D'autre part, si un stock effectue des migrations qui le font passer par la zone prospectée, une grosse partie de ce stock peut n'être présente à aucun moment dans la zone en question; le stock dans sa totalité peut n'être présent dans la zone que pendant de courtes périodes et échapper de ce fait à des prospections très espacées dans le temps. L'aire de répartition totale du stock peut aussi être plus grande qu'on ne le suppose; c'est le cas par exemple du stock de hareng qui pond dans le nord du Puget Sound, au nord-ouest des Etats-Unis, entre dans le Sound venant du large, se reproduit et s'en retourne après un très court laps de temps. Dans une telle situation, les prospections acoustiques doivent être répétées à intervalles rapprochés pour être à même d'observer l'abondance maximale; même avec cette précaution, il n'est jamais sûr que les estimations maximales obtenues aient porté sur la population totale (figure 10).

3.4.3 Remarques générales

Les exemples ci-dessus montrent combien il est important d'envisager toutes les sources d'erreur possibles. Il n'est pas judicieux de consacrer des efforts considérables à la prospection d'un stock si le système acoustique n'est pas calibré et s'il ne reste pas stable. Par contre, il n'est guère rentable de dépenser des sommes considérables pour l'acquisition d'un équipement acoustique moderne si c'est pour l'appliquer à un stock dont la composition spécifique est mal appréciée ou dont le schéma de distribution et de migration est insuffisamment connu. Un biométricien ou un consultant spécialiste en statistiques peuvent aider à programmer une prospection et à traiter les données de façon à en tirer une estimation moyenne de la population à 10 % près mais ne pourront, dans ce cas, garantir que la moyenne soit significative. L'estimation du pouvoir de réflexion de la cible pourra être décalée de 3 décibels (soit par un facteur de 2) ou bien la moitié du stock pourra être localisée près du fond et être de ce fait acoustiquement indétectable ou encore pourra n'avoir pas encore pénétré dans la zone prospectée. Un ingénieur électricien ou acousticien pourra élaborer un système très fiable d'acquisition et de traitement des données acoustiques et l'étalonner parfaitement; ce résultat sera sans intérêt si le poisson n'est que partiellement disponible vis-à-vis de cet équipement ou si la conception de la prospection ne garantit pas une couverture adéquate du stock. Le biologiste des pêches qui a recours aux méthodes

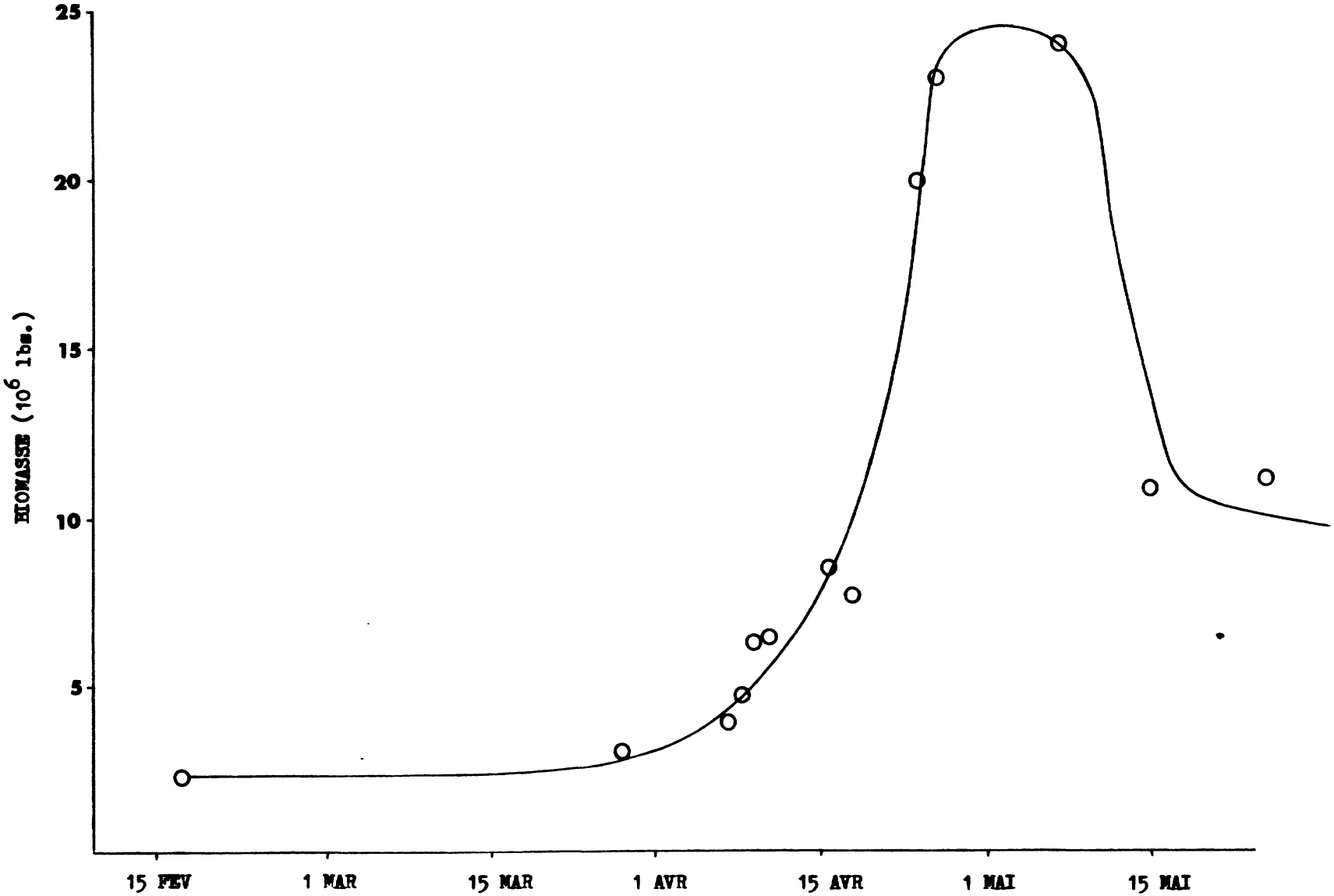


Figure 10 Variations de la biomasse de hareng dans le nord du Puget Sound, pendant la période de reproduction (printemps 1975)

acoustiques doit bien connaître les sources d'erreur pour être à même d'évaluer les secteurs où il doit appliquer son effort et ses fonds de façon à obtenir les meilleurs résultats compte tenu de ses moyens.

En résumé, les évaluations acoustiques peuvent conduire rapidement à des estimations absolues ou relatives de la taille des stocks, du moins si les stocks prospectés ne sont par répartis trop près de la surface ou du fond pour échapper à la détection.

Lorsque le stock peut être détecté par échosondage, le choix de la méthode acoustique qui conviendra le mieux dépendra largement de l'équipement et du personnel qualifié disponibles. L'estimation absolue la plus fiable de la taille d'un stock sera fournie par écho-intégration, mais il faudra alors disposer d'un équipement électronique complexe et coûteux, ce qui n'est pas toujours possible, et d'un personnel qualifié, capable à la fois de le mettre en oeuvre et de le maintenir en parfait état de fonctionnement. L'emploi de cet équipement suppose aussi que l'on dispose d'estimations exactes du pouvoir de réflexion des espèces étudiées. La mesure du pouvoir de réflexion est complexe; elle sort de notre propos. On en trouvera une bonne description dans Forbes et Nakken (1972).

Lorsqu'on ne dispose pas du matériel et du personnel voulus, l'analyse des échogrammes permet encore d'obtenir nombre d'informations utiles - notamment si le sondeur dispose d'un dispositif convenable de compensation du gain en fonction de la profondeur TVG - avec les méthodes décrites aux sections 3.3.1.1 à 3.3.1.3; si l'on dispose également d'un oscilloscope, la méthode décrite à la section 3.3.2 pourra être adoptée. Toutefois, le traitement ultérieur des observations sera beaucoup plus laborieux et demandera une bonne dose de jugement ce qui est nécessairement subjectif.

Il faut aussi tenir compte de ce que toute forme d'évaluation acoustique ne fournit normalement qu'une estimation absolue ou relative de l'abondance des ensembles d'organismes détectés dans la zone prospectée. Aucune détection acoustique ne distinguera automatiquement les espèces; par conséquent, si l'on souhaite obtenir des estimations spécifiques, il faudra échantillonner les espèces qui sont à l'origine des échos en procédant pour cela à des pêches de contrôle. Les captures devront alors être analysées de façon à déterminer la composition par espèces et les distributions de longueur des différentes espèces, de façon que l'estimation globale fournie par l'équipement acoustique puisse être répartie entre les espèces qui y ont contribué. La pêche à la senne coulissante, le chalutage pélagique ou le chalutage de fond avec un filet à grande ouverture verticale seront, suivant les cas, susceptibles de fournir des modes d'échantillonnage convenables. Le choix se fera essentiellement en fonction de la distribution verticale des échos ainsi que des moyens en navire et en engins de pêche que l'on peut mobiliser.

REFERENCES

Bazigos, G., 1975 The statistical efficiency of echo surveys with special reference to Lake Tanganyika. FAO Fish.Tech.Pap., (139):52 p.

_____, 1976 The design of fisheries statistical surveys - inland waters. Populations in non-random order, sampling methods for echo surveys, double sampling. FAO Fish. Tech.Pap., (133), Suppl.1:46 p.

Carpenter, B., 1967 A digital echo counting system for use in fisheries research. Radio Elec. Eng., 33(5):289-94

Craig, R. et S. Forbes, 1969 A sonar for fish counting. Fiskeridir-Skr.(Havunders.), 15:210-9

Dowd, R., 1967 An echo counting system for demersal fishes. FAO Fish.Rep., (62) Vol. 2:315-21

Dowd, R., 1974 Documentation of computerized echo counting system for fishes. Dartmouth, N.S., Canada Marine Ecology Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Marine Service, Department of the Environment, 196 p.

Edgell, J.A., 1935 Fake echoes in deep water. Int.Hydrogr.Rev., 12(1):19-20

Ehrenberg, J., 1972 A method for extracting the fish target strength distribution from acoustic echoes. In Proceedings of the 1972 IEEE Conference on Engineering in the Ocean Environment, pp. 61-4

Forbes, S. et O. Nakken, 1972 Manuel des méthodes de prospection et d'évaluation des ressources halieutiques. Deuxième partie. Emplois d'instruments acoustiques pour détecter le poisson et en estimer l'abondance. FAO Man.Fish.Sci., (5): p.

Gulland, J.A., 1975 Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 5. Objectives and basic methods. FAO Fish.Tech.Pap., (145):29 p.

Hewitt, R., P. Smith et J. Brown, 1976 Development and use of sonar mapping for pelagic stock assessment in the California Current area. Fish.Bull.NOAA/NMFS, 74(2):281-300

Johannesson, K.A., 1975 Preliminary quantitative estimates of pelagic fish stocks in Lake Tanganyika by use of echo integration methods. EIFAC Tech.Pap., (23) Suppl.1 Vol. 1:292-306

MacNeill, I., 1971 Quick statistical methods for analyzing the sequences of fish counts provided by digital echo counters. J.Fish.Res.Board Can., 28:1035-42

Mathisen, O. et al., Food consumption of pelagic fish in an upwelling area. In Proceedings of the Third International Symposium on Upwelling Ecosystems. Berlin, Springer-Verlag, (sous presse)

Midttun, L. et O. Nakken, 1977 Some results of abundance estimation studies with echo integrators. Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 170:253-8

Nakken, O. et K. Olsen, 1977 Target strength measurements of fish. Rapp.P.-Réun.CIEM, 170:52-69

Shotton, R. et R. Dowd, 1975 Current research in acoustic fish stock assessment at the Marine Ecology Laboratory, Bedford Institute of Oceanography. ICNAF Res.Doc., (75/16):17 p.

Simmonds, E., 1975 An echo integrator using digital processing. ICES Gear and Behaviour Committee, C.M. 1975/B:21:5 p. (mimeo)

Smith, P., 1970 The horizontal dimensions and abundance of fish schools in the upper mixed layer as measured by sonar. In Proceedings of the international symposium on biological sound scattering in the ocean edited by G.B. Farquhar. Washington D.C. Maury Center for Ocean Science, pp.565-91

Thorne, R.E., 1973 Digital hydroacoustic data-processing system and its application to Pacific hake stock assessment in Port Susan, Washington. Fish.Bull.NOAA/NMFS, 71:837-43

Thorne, R.E. et J. Dawson, 1974 An acoustic estimate of the escapement of sockeye salmon into Lake Washington in 1971. J.Fish.Res.Board Can., 31(2):222-5

Thorne R.E., E. Nunnallee et J. Green, 1972 A portable hydroacoustic data acquisition system for fish stock assessment. Wash.Sea Grant Publ., (72-4):14 p.

Thorne, R.E., J. Reeves et A. Millikan, Estimation of the Pacific hake (Merluccius productus) 1971 population in Port Susan, Washington, using an echo integrator. J.Fish.Res. Board Can., 28(9):1275-84

Thorne, R.E. et al., Distribution and abundance of pelagic fish off Spanish Sahara during 1977 CUEA Expedition JOINT-I. Deep-Sea Res., 24:75-82

Truskanov, M. et M. Scherbino, Methods of direct calculation of fish concentration by 1966 means of hydroacoustic apparatus. Res.Bull.ICNAF, (3):70-80

REFERENCES COMPLEMENTAIRES

Acker, W., An acoustical bottom-mounted fish enumeration system. In Proceedings of the 1973 1973 IEEE Symposium on Engineering in the Ocean Environment, pp.243-5

Acker, W. et al., A towed dual-frequency hydroacoustic fish assessment system. In 1975 Proceedings of the 1975 IEEE Symposium on Engineering in the Ocean Environment. IEEE Publ., (75-CHO-995-1 OEC):473-6

Bodholt, H., Quantitative measurements of scattering layers. Simrad Bull., (3):1-11 1969

Cushing, D.H., Direct estimation of a fish population acoustically. J.Fish.Res.Board Can., 1968 25(11):2344-64

_____, The detection of fish. Londres, Pergamon Press. 200 p. 1973

Dowd, R., E. Bakken et O. Nakken, A comparison between two sonic measuring systems for 1970 demersal fish. J.Fish.Res.Board Can., 27:737-42

Dragesund, O. et S. Olsen, On the possibility of estimating year-class strength by 1965 measuring echo abundance of 0-group fish. Fiskeridir.Skr.(Havunders.), 13(8):48-62

Ehrenberg, J., Two applications for a dual-beam transducer in hydroacoustic fish assessment 1974 systems. In Proceedings of the 1974 IEEE Conference on Engineering in the Ocean Environment, pp. 152-5

Ehrenberg J. et D. Lytle, Acoustic techniques for estimating fish abundance. IEEE Trans. 1972 (GE-10):138-45

Greer-Walker M., R. Mitson et T. Storeton-West, Trials with a transponding acoustic fish 1971 tag tracked with an electronic sector scanning sonar. Nature, Lond., 229:196-8

Haslett, R.W.G., Acoustic echoes from targets under water. In Underwater Acoustics, 1970 edited by R.W.B. Stephens, Londres, Wiley-Interscience, pp. 129-97

Holliday, D., Resonance structure in echoes from schooled pelagic fish. J.Acoust.Soc.Am., 1972 51:1322-32

_____, Doppler structure in echoes from schools of pelagic fish. J.Acoust.Soc.Am., 1974 55:1313-22

Love, R., Measurements of fish target strength: a review. Fish.Bull.NOAA/NMFS, 1971 69:703-15

Margetts, A. (ed.)., Hydroacoustics in fisheries research. Proceedings 1973 Symposium on 1977 acoustic methods in fisheries research, Bergen. Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 170:327 p.

Mathisen, O., Three decades of hydroacoustic fish stock assessment. Mar.Technol.Soc.J., 1975 9:31-4

McCartney, B. et A. Stubbs, Measurement of the acoustic target strengths of fish in dorsal 1971 aspect including swimbladder resonance. J.Sound Vib., 15(3):397-420

Moose, P. et J. Ehrenberg, An expression for the variance of abundance estimates using a 1971 fish echo integrator. J.Fish.Res.Board Can., 28:1293-301

Rusby, J. et al., Records obtained from the trials of a long range side scan sonar (GLORIA 1969 project). Nature, Lond., 223:1225-7

_____, An experimental survey of a herring fishery by long range sonar. Mar.Biol. 1973 22:271-92

Shibata, K., Study on details of ultrasonic reflection from individual fish. Bull.Fac.Fish. 1970 Nagasaki Univ., (29):1-82

Sund, O., Echo sounding in fishery research. Nature, Lond., 135:935 p. 1935

Thorne, R.E., Acoustic assessment of hake, 1969-1973. In Proceedings of the 1973 IEEE 1973 Symposium on Engineering in the Ocean Environment, pp. 249-52

Thorne, R.E. et al., Population studies of juvenile sockeye salmon in Lake Washington with 1975 the use of acoustic assessment techniques. EIFAC Tech.Pap., (23) Suppl.1, Vol. 1:328-45

Urick, R., Principles of underwater sound for engineers. New York, McGraw Hill, 342 p. 1967

4. METHODES INDIRECTES DE PREDICTION DES POTENTIELS DE CAPTURE

Plusieurs démarches sont possibles pour évaluer les ressources halieutiques de l'océan. Ce chapitre décrit les méthodes indirectes auxquelles on peut recourir à cette fin. Les évaluations basées sur la production primaire partent des caractéristiques physiques et chimiques de la zone océanique étudiée ainsi que des rapports écologiques entre ces dernières et le phytoplancton d'une part, et entre ceux-ci et les niveaux supérieurs de la chaîne trophique jusqu'aux stocks de poisson d'autre part. La productivité secondaire est plus proche - d'un niveau - des stocks de poisson; elle peut être également utilisée pour prévoir le potentiel de pêche. En outre, les données tirées d'échantillons de contenus stomacaux de formes trophiques supérieures (poissons, mammifères et oiseaux producteurs de guano) peuvent également fournir de premières indications sur les ressources en poisson. Bien que l'évaluation des oeufs et larves de poisson se fonde sur l'observation quantitative de la ressource elle-même, cette méthode est considérée ici comme une méthode indirecte; elle sera, pour cette raison, étudiée dans ce chapitre.

4.1 Productivité primaire

De nombreux auteurs se sont efforcés d'estimer la production ichtyologique d'un secteur océanique à partir de données sur la production primaire annuelle de ladite zone (Graham et Edwards, 1962; Schaefer et Alverson, 1968; Ricker, 1969; Ryther, 1969). En théorie, c'est là une démarche logique et simple. Si l'on dispose d'estimations précises sur la production annuelle de matière organique primaire, et si l'on connaît les voies par lesquelles celle-ci transite pour atteindre les niveaux trophiques supérieurs ainsi que l'efficacité écologique de ces transferts, il doit suffire de suivre cette transformation de la production primaire en biomasse ichtyologique pour évaluer la production annuelle qui en résulte. Malheureusement, dans la plupart des cas, cette méthode ne fournit que des ordres de grandeur des potentiels halieutiques et cela pour trois raisons majeures:

(a) les estimations de production primaire sur lesquelles repose la méthode risquent de se situer dans une fourchette assez large sauf, peut-être, dans les régions où les variations saisonnières ou annuelles de productivité primaire restent faibles ou à condition qu'on ait pu réaliser un programme intensif de prospections répétées;

(b) les chaînes alimentaires, par l'intermédiaire desquelles la production primaire se transforme en poisson et en autres formes trophiques supérieures, sont généralement très ramifiées et ne sont, le plus souvent, pas connues avec la précision voulue;

(c) de même l'efficacité écologique du transfert d'énergie d'un niveau trophique à l'autre n'est connue que de façon tout à fait approximative.

Mais à défaut d'autres renseignements, ces analyses peuvent cependant fournir des indications utiles sur les chances que l'on a de trouver dans un secteur donné des ressources en poisson dont le volume est susceptible de justifier la mise sur pied de prospections destinées à déterminer directement leur production potentielle. Elles sont en outre essentielles pour comprendre l'exploitation actuelle de la matière vivante des océans et les perspectives d'accroître celle-ci.

4.1.1 Informations générales sur les estimations publiées concernant la productivité primaire

La productivité primaire océanique a été estimée à de multiples reprises selon diverses méthodes. Certaines sont décrites dans Lorenzen (1976). Steemann Nielsen (1975) a lui aussi donné un résumé des travaux sur la production primaire dans les diverses zones océaniques du monde. Les chercheurs soviétiques ont effectué plus de 7 000 observations de productivité, ce qui représente la plus grande masse de données accumulée récemment à l'échelle mondiale (Koblentz-Mishke, Volkovinsky et Kobanova, 1970). Ils ont estimé la production primaire totale annuelle de l'océan mondial entre 1,5 et 1,8 x 10^{10} tonnes de carbonne fixé. Dans l'ensemble, les zones océaniques peuvent être subdivisées en trois types, selon leur productivité (Tableau 5):

- zones de haute mer où la production primaire par unité du superficie est la plus faible;
- eaux côtières où la production primaire est modérée;
- zones d'upwelling, où la production primaire par unité de superficie est la plus forte.

Tableau 5

Division des océans en "provinces" selon leur niveau de production organique primaire (d'après Ryther) (1969)

Province	Pourcentage de l'océan mondial	Superficie (km^2)	Productivité moyenne (grammes de carbonne/m^2/an)	Productivité totale (10^9 tonnes de carbonne/an)
Mer ouverte	90	326×10^6	50	16,3
Zones côtières 1/	9,9	36×10^6	100	3,6
Zones d'upwelling	0,1	$3,6 \times 10^5$	300	0,1
Total				20,0

1/ Y compris les zones hauturières à forte productivité

4.1.2 Evaluation de la production ichtyologique basée sur l'estimation de la productivité primaire

Pour estimer l'efficacité du transfert énergétique de la production primaire à celle des stocks de poisson, on est obligé de simplifier la structure complexe des pyramides alimentaires qui caractérisent l'océan en une simple succession de niveaux trophiques. Il en résulte des erreurs par excès ou par défaut. D'autre part, un autre élément d'incertitude est lié à l'estimation de l'efficacité du transfert énergétique de la production primaire à la production secondaire, puis de celle-ci à la production tertiaire. Enfin, il peut être malaisé de déterminer à quel niveau trophique se situe l'exploitation. Plusieurs espèces de poisson sont herbivores pendant une partie de leur cycle biologique et carnivore pendant une autre (Ryther, 1969). De même, les poissons carnivores peuvent s'alimenter à différents niveaux trophiques.

Schaefer (1965) a calculé la productivité des niveaux trophiques supérieurs correspondant à trois hypothèses différentes d'efficacité écologique (Tableau 6). Le choix entre deux niveaux trophiques successifs entraîne une marge d'erreur d'un ordre de grandeur au moins selon le facteur d'efficacité écologique retenu.

Les chiffres du Tableau 6 sont simplifiés car ils ne tiennent pas compte des variations de l'efficacité trophique d'un poisson au cours de son existence. Or les jeunes peuvent avoir une efficacité de 15 à 20 pour cent alors que les individus plus âgés peuvent avoir une efficacité inférieure à 10 pour cent (Steele, 1965). L'efficacité totale de l'écosystème est évidemment maximale lorsque l'exploitation porte sur le niveau trophique le plus bas (Petipa, Pavlova et Mironov, 1973).

Bien que Cushing (1969) et Ryther (1969) aient l'un et l'autre estimé à environ 20 millions de tonnes la production ichtyologique totale à l'intérieur du système du courant du Pérou, ils sont arrivés à ce chiffre en utilisant des valeurs très différentes pour les

mêmes paramètres, ce qui illustre bien les incertitudes qui affectent plusieurs facteurs critiques intervenant dans les équations reliant la production primaire à la production ichtyologique. Comme le signalait Paulik (1971), si Cushing avait utilisé le facteur d'efficacité écologique retenu par Ryther (0,12) et non la valeur de 0,01 qu'il a en fait adoptée, son estimation de la production de poisson aurait été de l'ordre de 240 millions de tonnes. Ainsi, même pour une zone assez bien connue ayant fait l'objet de recherches écologiques considérables, on peut aboutir, selon les valeurs que l'on retient pour chaque paramètre à l'intérieur des intervalles possibles, à des estimations très différentes de la production ichtyologique totale.

Tableau 6

Estimations (en tonnes) des productions potentielles annuelles aux différents niveaux trophiques (d'après Schaefer, 1965)

Niveau trophique	Facteur d'efficacité écologique					
	10 pour cent		15 pour cent		20 pour cent	
	carbone	poids total	carbone	poids total	carbone	poids total
0. Phytoplancton (production nette, y compris les particules non assimilables)	$1,9 \times 10^{10}$		$1,9 \times 10^{10}$		$1,9 \times 10^{10}$	
1. Herbivores,	$1,9 \times 10^{9}$	$1,9 \times 10^{10}$	$2,8 \times 10^{9}$	$2,8 \times 10^{10}$	$3,8 \times 10^{9}$	$3,8 \times 10^{10}$
2. Carnivores, 1er stade	$1,9 \times 10^{8}$	$1,9 \times 10^{9}$	$4,2 \times 10^{8}$	$4,2 \times 10^{9}$	$7,6 \times 10^{8}$	$7,6 \times 10^{9}$
3. Carnivores, 2ème stade	$1,9 \times 10^{7}$	$1,9 \times 10^{8}$	$6,4 \times 10^{7}$	$6,4 \times 10^{8}$	$15,2 \times 10^{7}$	$15,2 \times 10^{8}$
4. Carnivores, 3ème stade	$1,9 \times 10^{6}$	$1,9 \times 10^{7}$	$9,6 \times 10^{6}$	$9,6 \times 10^{7}$	$30,4 \times 10^{6}$	$30,4 \times 10^{7}$

4.1.3 Méthodes de mesure de la productivité primaire

La productivité primaire peut être mesurée de différentes façons. On peut par exemple estimer la production in situ en mesurant la production d'oxygène ou l'absorption de carbon sur des échantillons d'eau prélevés en différents points et à des profondeurs données.

Jusque vers 1950, la méthode la plus courante consistait à mesurer la production d'oxygène. La quantité d'oxygène libérée dans un volume d'eau pendant un intervalle de temps donné est proportionnelle à la quantité de carbone assimilé par photosynthèse. En mesurant la quantité d'oxygène produit on peut donc calculer la production de phytoplancton (Steemann Nielsen, 1975). Cette méthode demande beaucoup de temps; elle est laborieuse et sa réalisation in situ est malaisée. En outre, lorsque la production primaire est faible, la sensibilité de la technique utilisée (méthode Winkler) pour mesurer l'oxygène dissous est insuffisante. De ce fait, la mesure de l'oxygène dissous est presque entièrement remplacée de nos jours par la mesure directe de l'assimilation du carbone. Cette dernière

méthode a été mise au point au début des années 50 et utilise le carbone radioactif (^{14}C). La méthode est très simple mais suppose une certaine connaissance de l'utilisation des traceurs (Vollenweider, 1974). A un certain volume d'eau, on ajoute une quantité connue de ^{14}C; après un certain temps, le phytoplancton est isolé par filtration. Le filtre est exposé aux vapeurs d'HCl et le ^{14}C assimilé par le phytoplancton est mesuré. Lorsque cette méthode a commencé à être utilisée, le ^{14}C assimilé était dosé à l'aide d'un compteur Geiger-Müller. On procède maintenant au dénombrement par scintillation en milieu liquide, ce qui, après d'autres modifications, a accru la précision de la méthode (Schindler, Schmidt et Reid, 1972; Cushing, 1975). Steeman Nielsen (1975) affirme que la précision de la méthode du ^{14}C est au plus de l'ordre de 30 pour cent. Si l'on considère les variations considérables de la productivité primaire dans la nature, il s'agit là d'un ordre de grandeur acceptable.

On peut aussi estimer la productivité primaire par mesure directe de la quantité de phytoplancton présent dans un volume donné d'eau. On peut déduire la productivité à partir de cette biomasse instantanée, à condition de connaître sa vitesse de renouvellement.

Les quantités de certains pigments végétaux présentes dans l'eau ont également été utilisées comme indices de la biomasse instantanée. Ces pigments, et notamment la chlorophylle *a*, sont extraits du plancton par dissolution dans l'acétone à 90 %; la quantité présente est mesurée par spectrophotométrie ou fluorométrie (Strickland et Parsons, 1968; Cushing, 1975). Cette méthode présente toutefois l'inconvénient de ne pas tenir compte du fait que tout le pigment mesuré ne participe pas activement à la photosynthèse car elle mesure aussi les produits de la dégradation de la chlorophylle (phaeopigments). Récemment, la mesure de la fluorescence, avant et après acidification de l'échantillon, a permis d'évaluer la quantité de phaeopigments, et ainsi d'améliorer les mesures de chlorophylle *a* active (Strickland et Parsons, 1968). Il semble cependant que ces méthodes soient moins précises que celles basées sur le dosage de l'oxygène ou sur la mesure du ^{14}C.

Une autre méthode en cours d'élaboration est fondée sur la fluorométrie d'excitation de la chlorophylle *a* (Samuelsson, Oquist et Halldal, 1976). Suivant les conditions physiologiques, le pigment libère une quantité de lumière fluorescente, inversement proportionnelle à l'activité de photosynthèse. Lorsque l'activité de photosynthèse est minimale, la quantité de lumière fluorescente libérée est maximale. Si on mesure la lumière fluorescente émise par la chlorophylle *a* *in vivo*, avant puis après avoir stoppé la photosynthèse par addition de substances chimiques toxiques, on peut mesurer la quantité de chlorophylle *a* présente et estimer la productivité relative. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir être effectuée en continu pendant une croisière et de permettre des mesures successives de la production primaire à une profondeur donnée. Elle peut également être appliquée aux échantillons en provenance de niveaux plus profonds. Elle n'est pas encore entièrement au point mais semble prometteuse et pourrait faciliter la mesure de la production primaire.

4.1.4 Utilité des estimations de production primaire en tant qu'indices de production ichtyologique

Même là où il est possible de mesurer la production primaire annuelle avec une précision acceptable et de façon pas trop onéreuse, il ressort clairement de ce qui précède que l'estimation de la production halieutique à partir de ces mesures risque de ne donner que des réponses très approximatives, à moins que l'on dispose d'informations de base en grand nombre sur l'ensemble des écosystèmes dans la zone étudiée, sur les interrelations entre les éléments de ces écosystèmes à tous les stades de leurs cycles biologiques et sur l'efficacité des transferts énergétiques entre eux. Or, pour la plupart des zones océaniques, les renseignements de ce genre sont peu nombreux; aussi ne recommanderons-nous pas d'entreprendre, dans ce seul but, les études nécessaires à l'obtention d'estimations précises de la production primaire.

Néanmoins, même lorsqu'on ne dispose que d'estimations grossières de cette production, elles sont susceptibles de fournir des premières indications sur la production probable de poisson, cela par comparaison avec d'autres régions pour lesquelles on possède à la fois

des estimations de la production primaire et de la production halieutique. A condition que les espèces de poisson occupant les deux secteurs vivent au même niveau trophique, il est logique de supposer que la production de poisson dans les deux zones sera en gros proportionnelle à leur production primaire. Une estimation de la production de poisson basée sur ce principe ne sera vraisemblablement pas suffisamment précise pour qu'on puisse fonder sur cette seule information la décision de développer une pêcherie; elle permettra néanmoins de juger si un projet visant à évaluer le potentiel halieutique par des méthodes plus directes se justifie.

4.2 Abondance du zooplancton

Comme c'est le cas pour le phytoplancton, l'abondance des stocks de poisson et autres formes marines supérieures doit être liée à la biomasse instantanée de zooplancton; aussi a-t-on essayé de prévoir les potentiels de capture à partir de ces biomasses instantanées (Cushing, 1969; Ryther, 1969). Néanmoins, la mesure de la biomasse instantanée ainsi que de la production totale de zooplancton est généralement plus difficile que la détermination de la production primaire. Il est possible d'évaluer la biomasse instantanée de zooplancton, mais l'ampleur de l'échantillonnage nécessaire, dans le temps comme dans l'espace, est considérable et implique de grosses dépenses en navires de recherche.

Les filets à plancton sont ordinairement très sélectifs; aussi plusieurs modèles seront nécessaires pour échantillonner les divers éléments du zooplancton (Fraser, 1968; Ackerfors, 1971). Un grand nombre de difficultés d'échantillonnage apparaissent lorsque l'on veut disposer d'une connaissance quantitative exhaustive sur le zooplancton. Des difficultés instrumentales se posent en effet en ce qui concerne la dimension des mailles et les textiles de construction des filets, la mesure du volume d'eau filtré, celle de la profondeur d'échantillonnage, les dispositifs de fermeture, la vitesse de remorquage, les réactions d'évitement, etc.

Il est possible, en modifiant la dimension des mailles du filet de capturer des parties spécifiques du zooplancton disponible. Si l'on emploie les mailles les plus fines pour capturer les plus petits organismes zooplanctoniques, le filet ne conviendra pas pour échantillonner les éléments plus gros. Aussi, l'échantillonnage des différents éléments de taille de l'ensemble de la population zooplanctonique requiert-il l'emploi d'une gamme de filets et de maillages.

Pour obtenir des estimations acceptables de l'abondance il faut pouvoir déterminer la profondeur à laquelle le filet opère. Pendant longtemps, la profondeur d'échantillonnage a surtout été estimée à partir de la longueur et de l'angle du câble de remorquage. De nos jours, il est aisé de mesurer avec précision la profondeur d'échantillonnage, notamment à l'aide d'enregistreurs de profondeur et de temps. Des méthodes télémétriques plus avancées ont également été mises au point qui permettent d'estimer la profondeur de travail de l'engin. Les informations sont transmises au navire, soit électriquement par l'intermédiaire d'un câble coaxial, soit par des impulsions acoustiques transmises à travers l'eau et recueillies par un microphone remorqué. La profondeur peut alors, le cas échéant, être modifiée en cours de remorquage.

En résumé, il est difficile d'obtenir des estimations quantitatives de la biomasse instantanée de zooplancton du fait de la multiplicité des formes et groupes de tailles. Les différences dans la durée d'existence des générations rendent encore plus difficile le calcul de la production de zooplancton, c'est-à-dire la quantité de matière nouvelle produite par unité de temps. Bien que les biomasses instantanées de nombreuses formes importantes de zooplancton fassent communément l'objet d'estimations, celles-ci ne présentent jusqu'à présent qu'un intérêt limité pour la prédiction des potentiels de capture. Néanmoins, les résultats obtenus pourraient se révéler utiles à l'avenir, surtout si de nouvelles méthodes permettaient de capturer directement les grosses formes de zooplancton. Comme il a été signalé à la section 4.1.4, la faible précision des estimations de production halieutique que l'on peut espérer tirer des estimations de production zooplanctonique ne sble guère justifier le lancement de programmes de prospection limités à ce seul objectif.

Néanmoins, si l'on dispose d'estimations assez raisonnables de la production zooplanctonique, on peut les comparer à celles de toute autre région pour laquelle on dispose à la fois d'estimations de production zooplanctonique et de production halieutique. Là aussi, il faudra tenir compte du niveau trophique où s'alimentent les stocks de poisson dans l'un et l'autre secteurs.

4.3 Evaluation des oeufs et des larves

Les prospections d'oeufs et de larves de poisson peuvent en théorie être utilisées pour (a) estimer le recrutement à venir du stock et (b) déterminer la taille du stock à l'origine du nombre d'oeufs ou larves produits. En pratique, pour les stocks de poisson qui n'ont pas été surexploités, il n'existe généralement pas de relation directe entre l'abondance des premiers stades et celle qu'ils auront au moment du recrutement; par conséquent, la première de ces méthodes n'est pas normalement applicable, bien qu'il puisse être intéressant d'estimer le recrutement à partir des derniers stades post-planctoniques.

Le concept sur lequel se base l'évaluation de l'abondance du stock de reproducteurs d'une population de poisson, à partir de l'estimation de l'abondance des oeufs et des larves, est simple. On peut déduire la taille du stock reproducteur à partir de l'expression suivante: nombre total d'oeufs produits pendant une saison de reproduction = nombre de reproducteurs x proportion de femelles dans le stock reproducteur x nombre moyen d'oeufs produits par femelle; c'est-à-dire:

$$N = \frac{P}{FxR}$$

où N = nombre d'adultes ayant dans le stock atteint la maturité
P = production annuelle d'oeufs par le stock
F = nombre moyen d'oeufs produits par femelle et par an
R = proportion de femelles dans le stock à maturité

Ainsi, si on peut estimer le nombre d'oeufs pondus en un an et si la proportion de femelles dans le stock ainsi que le nombre moyen d'oeufs produits par femelle et par an sont connus, on peut calculer la taille du stock reproducteur.

Les techniques d'échantillonnage des oeufs varient selon qu'il s'agit d'espèces à oeufs planctoniques ou à oeufs démersaux. Pour les espèces dont les oeufs sont planctoniques, on bénéficie d'un avantage évident car ils sont généralement assez uniformément répartis dans les couches supérieures de l'océan et l'échantillonnage à l'aide de filets à plancton simples est facile, le volume filtré pouvant être mesuré sans difficulté. Les oeufs démersaux peuvent être échantillonnés par des plongeurs ou à l'aide de bennes (Gjøsaeter et Saetre, 1974).

L'équation ci-dessus donne le nombre de géniteurs. En général, on s'intéresse cependant davantage à la biomasse exploitable du stock. En pratique, le rapport entre la fécondité et le poids est généralement plus simple que le rapport entre la fécondité et la longueur, aussi est-il préférable d'utiliser dans l'équation ci-dessus la fécondité par unité de poids plutôt que le nombre moyen d'oeufs par femelle. Formulée, ainsi, l'équation fournira directement le poids du stock reproducteur. On pourra ajouter à celle-ci la biomasse immature capturable, en évaluant le rapport de ces deux biomasses à partir de celui des captures aux quelles elles donnent lieu.

Le nombre d'oeufs produit peut être estimé en échantillonnant les oeufs d'âge connu en une série de points dans le temps et l'espace et en intégrant ces mesures dans le temps et l'espace de façon à obtenir la production totale. La production d'oeufs peut également se déduire de l'estimation de l'abondance de larves d'un certain âge; dans ce cas, il faudra corriger le nombre observé pour tenir compte de la mortalité survenue entre la ponte et le stade larvaire dont on évalue l'abondance. L'intervalle de temps que les produits de la ponte passent dans le stade considéré lors de l'estimation doit également être connu pour pouvoir calculer à combien de jours de ponte se rapporte le nombre observé.

La méthode par laquelle on estime la taille du stock reproducteur à partir des mesures de l'effectif d'oeufs présents dans l'aire prospectée sera mieux illustrée par un exemple concret:

Période de prospection	Abondance estimée des oeufs dans la zone prospectée	Production journalière d'oeufs
3-5 Septembre	8225×10^6	3290×10^6
6-8 Septembre	122765×10^6	49106×10^6
10-12 Septembre	413795×10^6	165518×10^6
13-15 Septembre	530215×10^6	212086×10^6
16-17 Septembre	609375×10^6	243750×10^6
19-21 Septembre	438020×10^6	175208×10^6
23-25 Septembre	209225×10^6	83690×10^6
26-28 Septembre	55288×10^6	22115×10^6
29 Septembre-1 Octobre	2313×10^6	925×10^6

Les oeufs mettent 2,5 jours pour traverser le stade utilisé dans l'estimation de la biomasse présente. En divisant les valeurs figurant à la colonne 2 du tableau ci-dessus par 2,5, on obtient les valeurs de production journalière d'oeufs figurant à la colonne 3. Pour intégrer ces valeurs dans le temps, on les représente graphiquement par rapport à la date médiane de chaque prospection (cf. Figure 11). La superficie représentée par ce graphique est égale à 153,25 grands carrés représentant chacun avec l'échelle employée 2×10^{10} oeufs. La production totale annuelle d'oeufs est alors égale à $153,25 \times 2 \times 10^{10}$ oeufs = $306,5 \times 10^{10}$. Le rapport fécondité/poids de ce stock est: $F = 22,4W$ où F est la fécondité d'une femelle de poids W (g). Ainsi, 22,4 oeufs produits correspondent à un gramme de biomasse de femelle reproductrice dont la biomasse totale est donc égale à $(306,5 \times 10^{10}$ oeufs$)/(22,4$ oeufs/g$) = 13,7 \times 10^{10}$g = 137×10^3 tonnes. Si le sex ratio (en poids) de la population de reproducteurs était 1:1 pendant la prospection, la biomasse totale des reproducteurs (mâles et femelles) était égale à $2 \times 137 \times 10^3 = 274$ tonnes.

Le succès de cette méthode demande toutefois que soient réunies un certain nombre de conditions préalables. Pour que l'on puisse planifier un programme d'échantillonnage approprié, les problèmes que pose l'identification des oeufs et des larves devront avoir été résolus de même qu'il faudra avoir déterminé la localisation et l'étendue des zones de reproduction possibles ainsi que la durée probable de la ponte (Saville, 1964; Saetersdal, 1973). Dans les eaux tropicales et subtropicales où le développement des oeufs et des larves est rapide, la couverture correcte de la ponte peut poser des problèmes particuliers d'échantillonnage. Aux basses latitudes où la reproduction des poissons est souvent beaucoup plus étendue dans le temps et dans l'espace que dans les régions plus froides, l'évaluation de la production totale annuelle d'oeufs peut requérir un très grand effort de prospection.

Les erreurs inhérentes à l'estimation de la production annuelle d'oeufs et de larves de poisson ont été examinées par différents auteurs (en particulier Saville, 1964 et English, 1964).

Les principales sources de variabilité sont:

- la variation entre les traits effectués au même endroit;
- la variation d'abondance entre les divers points de prélèvement;
- la variation dans le temps, à l'intérieur d'une saison de ponte donnée.

Les deux premières sources de variation sont à l'origine de la variance de l'abondance estimée des oeufs ou de larves obtenue lors d'une même croisière. La principale cause de variabilité est en général la variance inter-sites; afin de réduire au minimum cette source d'erreur, il faudra adopter un plan d'échantillonnage stratifié, tel qu'il a été décrit dans le Chapitre 2 relatif à la prospection pour l'évaluation des stocks.

Le principal facteur de variabilité dans l'estimation de la production d'oeufs d'une saison est cependant en général la variabilité temporelle. Il est évident que l'on risque de graves erreurs si on limite l'échantillonnage à quelques périodes relativement brèves. On risquera alors, une année, d'échantillonner les oeufs ou les larves au voisinage du pic de production annuelle et de s'en trouver très loin une autre année. Les estimations absolues et relatives d'abondance tirées de programmes d'observation trop occasionnels risquent donc d'être entâchées d'erreurs graves. Afin de concevoir le meilleur plan d'échantillonnage possible, il faudra avoir déterminé auparavant la durée de la saison de ponte, ainsi que l'époque de son ou de ses pics.

Dans l'exemple de la Figure 11, la saison de ponte est relativement courte et le cycle de production d'oeufs suit d'assez près une distribution normale. Il s'agit là d'une situation idéale; on aurait pu obtenir des estimations suffisamment précises de la production totale annuelle d'oeufs à partir de prospections beaucoup moins fréquentes. Dans le cas où la période de ponte est plus longue et où le cycle de production d'oeufs est moins régulier, la fréquence de prospections nécessaires pour obtenir une estimation suffisamment précise de la production annuelle d'oeufs peut se révéler excessive compte tenu des moyens et des autres modes d'évaluation de stocks disponibles. De la même façon que nous avons vu l'intérêt que présente, lors d'une prospection, l'intensification de l'échantillonnage en fonction de l'abondance locale des oeufs, on accroîtra considérablement la précision des estimations en augmentant l'échantillonnage au voisinage des modes escomptés dans le cycle de production et en diminuant la fréquence d'observations pendant les périodes de faible production.

Il existe d'autres sources de biais possible des estimations, dont la mortalité des oeufs et des larves est la principale. Toute estimation du nombre d'oeufs ou de larves d'un certain âge devrait être corrigée pour tenir compte de l'effet de toutes les causes de mortalité survenue jusqu'à cet âge. La mortalité des oeufs et des larves n'a été que très rarement mesurée de façon convenable car cela demande un effort important de recherche centré spécialement sur cet objectif. Il faudra baser l'évaluation de la taille du stock sur le stade le plus précoce possible après la ponte, de préférence avant que l'âge maximum n'atteigne 3 jours. Les rares mesures convenables de mortalité dont on dispose semblent indiquer que la mortalité au cours de ces stades précoces est de l'ordre de 5 à 10 pour cent par jour. On obtiendrait donc une approximation raisonnable en divisant toute estimation - portant sur ce premier stade - de la production d'oeufs par 0,9 pour tenir compte de la mortalité correspondant à ce stade.

L'estimation de la fécondité peut également être cause d'erreurs. Celles-ci serait vraisemblablement minimes dans le cas d'espèces où les géniteurs pondent tous leurs oeufs mûrs en une seule fois. Ce n'est pas le cas lorsque la ponte est fractionnée en plusieurs émissions au cours d'une même saison de ponte. Chez ceux-ci, tous les oocytes destinés à être émis au cours d'une saison donnée de ponte peuvent ne pas être encore différenciés pendant les stades initiaux de la maturation, tandis qu'à des stades plus avancés de la saison de ponte des oeufs peuvent avoir déjà été pondus. Pour obtenir une estimation de la fécondité annuelle de ces espèces, il faudrait donc connaître le nombre d'émissions annuelles, le nombre d'oeufs pondus lors de chaque ponte fractionnée et les relations existant entre ces phénomènes et la taille ou l'âge du poisson. Fischer et Balbontín (1970) ont décrit des méthodes de séparation des oocytes en groupes de tailles et de sous échantillonnage de ces groupes pour les espèces à ponte fractionnée, tandis que Macer (1974) a décrit une méthode fondée sur l'examen histologique des ovaires pendant un cycle de reproduction complet. Cette methode a donné des resultats pratiques sur le chinchard mais est très exigente en temps.

Ainsi, les problèmes méthodologiques et la précision des évaluations dérivées de l'estimation de la production d'oeufs ou de larves sont très largement fonction de l'étalement dans le temps et l'espace de la ponte. Lorsque l'on ignore quand se situe le pic de reproduction et si celle-ci est étendue dans le temps, il est nécessaire de répéter l'échantillonnage tout au long d'une longue période si l'on veut éviter de graves erreurs. Ces échantillonnages répétés demanderont un effort encore plus important si l'aire de reproduction est vaste.

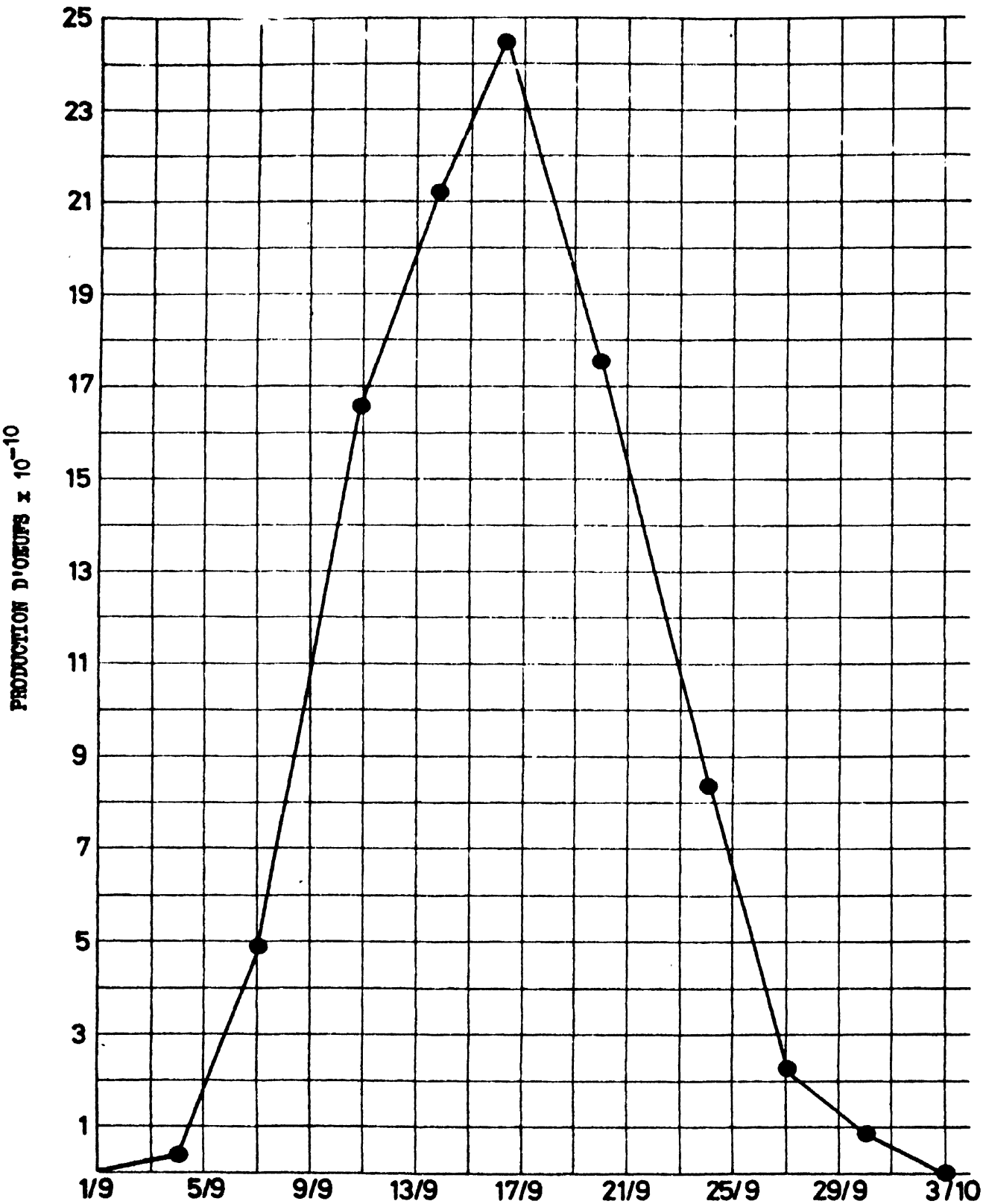


Figure 11 Estimations de l'abondance journalière des oeufs portées en fonction de la date moyenne de chaque prospection

En dépit de ces importants risques d'erreurs, il existe de nombreux cas d'applications réussies de ces techniques (Saville, 1965; Tanaka, 1974). Celles-ci peuvent également aider à détecter la présence de ressources potentiellement exploitables dans des zones peu connues. Smith et Richardson (sous presse) examinent en détail la planification et la réalisation des prospections.

En termes généraux, les prospections d'oeufs et de larves sont onéreuses en temps et en moyens de navigation; elles requièrent des spécialistes pour trier les échantillons. Par contre, les opérations d'échantillonnage sont simples et peuvent être réalisées en pratique par n'importe quel type de navire. Il n'en reste pas moins que le coût de ces études reste très élevé et qu'il faut toujours comparer soigneusement la rentabilité de ce type de prospection au prix de revient d'autres méthodes de prospection plus directes, du type de celles qui ont été examinées dans les chapitres précédents. L'échantillonnage des oeufs et des larves peut souvent être inclus dans d'autres campagnes de prospection ou d'océanographie dont elles n'accroîtront pas beaucoup le coût ni le travail requis. Les plans d'échantillonnage de ces prospections ne correspondront néanmoins que rarement aux impératifs d'une estimation proprement dite des oeufs et des larves et, par conséquent, les échantillons recueillis n'auront qu'une valeur réduite pour l'évaluation correcte du stock. Ces programmes accessoires fourniront cependant des renseignements utiles sur la localisation des aires de ponte et sur la présence des diverses espèces dans la zone étudiée. Si dans la plupart des cas on ne peut conseiller d'entreprendre des évaluations d'oeufs spécialement pour estimer la taille d'un stock, il n'en reste pas moins que les données déjà disponibles sur l'abondance des oeufs doivent incontestablement être examinées pour voir si l'on peut en tirer des indications même approximatives sur la taille probable des stocks et déterminer l'importance qu'il faudrait donner aux autres types de recherche.

4.4 Examen des contenus stomacaux des formes trophiques supérieures

Le contenu stomacal des poissons carnivores ou d'autres animaux se nourrissant au sommet de la chaîne alimentaire peuvent fournir des indications utiles de la présence des ressources en poisson, ainsi que des premières indications sur leur abondance. L'abondance des prédateurs eux-mêmes constituera alors un paramètre important de l'évaluation des données.

En théorie, si l'on connaît l'abondance des prédateurs vivant sur la ressource que l'on désire estimer ainsi que les besoins énergétiques annuels d'un prédateur individuel et la proportion d'aliments ingérés par ce prédateur fournie par l'espèce étudiée, on pourra calculer la masse de cette ressource que le stock prédateur prélève chaque année. On obtiendra ainsi une estimation minimale de la production de ladite ressource. Pour la préciser, il faudra estimer le taux de mortalité naturelle totale de la ressource en question ainsi que le rôle joué dans cette mortalité par les maladies et par la prédation d'autres espèces. Le calcul, à partir de ce type d'informations, d'estimations précises de la production demande une connaissance très complète de l'écologie des proies ainsi que de celle du prédateur; c'est rarement le cas. Cette approche ne saurait donc convenir que pour fournir une première estimation minimale de l'importance d'un stock constituant l'aliment dominant d'une importante population de prédateurs qui pourra, à son tour, être évaluée facilement ou l'aura déjà été. Comme exemples de l'utilisation de cette méthode, on peut citer l'évaluation de l'abondance de l'anchois péruvien à partir de celle des oiseaux producteurs de guano et de la production de guano (Schaefer, 1970), ainsi que celle de la production possible de krill antarctique, à partir des estimations d'abondance des baleines (Everson, 1977). Les changements dans le régime alimentaire d'un prédateur donné peuvent également indiquer des modifications de l'abondance de l'espèce-proie. L'étude des contenus stomacaux des organismes supérieurs est donc susceptible de fournir à bon marché des informations utiles en ce sens que les données de base nécessaires sont souvent produites accessoirement par des études entreprises dans un autre but.

Toutefois, on ne doit guère s'attendre à obtenir par cette démarche des estimations précises de l'abondance absolue. En effet, aux incertitudes qui tiennent par exemple à la sélectivité du prédateur (ledit prédateur peut préférer certaines espèces de poisson ou

certains groupes de tailles ou encore ne pas sélectionner ses proies, ingérant toutes les espèces qui se présentent) s'ajoutent les erreurs entraînées par les changements dans l'espace ou le temps des habitudes alimentaires du prédateur.

REFERENCES

Ackerfors, H., Plankton methodology. Medd.Havsfiskelab., Lysekil, (121):1-36
1971

Cushing, D.H., Upwelling and fish production. FAO Fish.Tech.Pap., (84):1-40
1969

_____, Marine ecology and fisheries. Cambridge, Cambridge University Press,
1975 278 p.

English, S.T., A theoretical model for estimating the abundance of planktonic fish eggs.
1964 Rapp.P.-V.Réun.CIEM, (155):174-84

Everson, I., The living resources of the Southern Ocean. FAO (Southern Ocean Fisheries Survey Programme), Rome. GLO/SO/77/1 (sous presse). Rome, FAO

Fischer, W. et F. Balboutin, On the investigation of ovarial cycle and fecundity of fish
1970 with special reference to partial spawners. Ber.Dtsch.Wiss.Komm.Meeresforsch., 21:56-77

Fraser, J.H., The history of plankton sampling. Monogr.Oceanogr.Methodol., (2):11-8
1968

Gjøsaeter, J. et R. Saetre, The use of data on eggs and larvae for estimating spawning
1974 stock of fish populations with demersal eggs. In The early life history of fish, edited by J.H.S. Blaxter. Berlin, Springer-Verlag, pp.139-49

Graham, H.W. et R.L. Edwards, The world biomass of marine fishes. In Fish nutrition,
1962 edited by E. Heen et R. Kreuzer. Londres, Fishing News (Books) Ltd., pp.3-8

Koblentz-Mishke, O.J., V.V. Volkovinsky et J.G. Kobanova, Plankton primary production of
1970 the world ocean. In Scientific exploration of the South Pacific, edited by W.S. Wooster. Washington, D.C., National Academy of Science, pp.84-94

Lorenzen, C.J., Primary production in the sea. In The ecology of the seas, edited by
1976 D.H. Cushing et J.J. Walsh. Oxford, Blackwell Scientific Publications, pp. 173-85

Macer, C.T., The reproductive biology of the horse mackerel Trachurus trachurus (L.) in
1974 the North Sea and English Channel. J.Fish.Biol., 6:415-38

Paulik, G.J., Anchovies, birds and fishermen in the Peru current. In Environment:
1971 resources, pollution and society, edited by W.W. Murdoch. Stamford, Conn., Sinauer Associates, Inc., pp.158-85

Petipa, T.S., E.V. Pavlova et G.N. Mironov, The food web structure, utilisation and
1973 transport of energy by trophic levels in planktonic communities. In Marine food chains, edited by J.H. Steele. Edinburgh, Oliver et Boyd, pp. 142-67

Ricker, W.E., Food from the sea. In Resources and man. National Academy of Sciences and
1969 National Environmental Research Council, Chicago, Freeman

Ryther, J.H., Photosynthesis and fish production in the sea. Science, Wash., 166(3901):
1969 72-6

Saetersdal, G., Assessment of unexploited resources. J.Fish.Res.Board Can., 30:20 10-6
1973

Samuelsson, G., G. Oquist et P. Halldal, The variable chlorophyll a Fluorescence as a
1976 measure of photosynthetic capacity in algae. Paper presented to the International Symposium on the experimental use of algal cultures in limnology. Sandefjord, Norway, 13 p.(mimeo)

Saville, A., Estimation of the abundance of a fish stock from egg and larval surveys.
1964 Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 155:164-73

Schaefer, M.B., The potential harvest of the sea. Trans.Am.Fish.Soc., 94(2):123-8
1965

_____, Men, birds and anchovies in the Peru current, dynamic interactions.
1970 Trans.Am.Fish.Soc., 99(3):461-7

Schaefer, M.B. et D.L. Alverson, World fish potentials. Univ.Wash.Publ.Fish., (4):81-5
1968

Schindler, D.W., R.V. Smith et R.A. Reid, Acidification and bubbling as an alternative
1972 to filtration in determining phytoplankton production by the ^{14}C method. J.Fish.Res.Board Can., 29:1627-31

Smith, P.E. et S. Richardson, Standard techniques for pelagic fish egg and larva surveys.
FAO Fish.Tech.Pap., (175) (sous presse)

Steele, J.H., Some problems in the study of marine resources. Spec.Publ.ICNAF, (6):463-73
1965

Steemann Nielsen, E., Marine photosynthesis. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing
1975 Company, 141 p.

Strickland, J.D.H. et T.R. Parsons, A practical handbook of seawater analysis. Bull.Fish.
1968 Res.Board Can., (167):1-331

Tanaka, S., Significance of egg and larval surveys in the studies of population dynamics
1974 of fish. In The early life history of fish, edited by J.H.S. Blaxter. Berlin, Springer-Verlag, pp.151-7

Vollenweider, R.A. (ed.), A manual on methods for measuring primary production in aquatic
1974 environments. IBP Handb., (12):213 p.

5. COLLECTE ET SAISIE DES DONNEES

Les procédures de saisie des données ainsi que la façon dont celle-ci sont enregistrées sont capitales pour le succès d'une prospection halieutique. Les données recueillies en mer sont uniques et leur coût très élevé. Aussi si les informations initiales sont saisies de façon incorrecte ou impropre, les stades ultérieurs de l'analyse risqueront de s'en trouver affectés et les objectifs de la prospection seulement partiellement atteints.

Dans la plupart des cas, les mesures se font dans des conditions difficiles où le personnel risque de ne pas être aussi efficace qu'à terre. Il importe par conséquent que tous les experts qui embarquent soient bien initiés aux règles fondamentales fixées pour la collecte des données et que tout le personnel participant à une prospection suive une procédure rigoureusement définie pour le traitement de l'information recherchée. En outre, la conception des documents servant à l'enregistrement devra permettre cette saisie méthodique et faciliter au maximum la vérification ultérieure de l'information saisie, sans que cela entraîne des transcriptions inutiles.

Lorsqu'on se propose de recueillir un volume important de données, il est courant de recourir à une méthode automatique de traitement. Le personnel qui assurera ce traitement a toutes chances d'être différent de celui qui les aura recueillies en mer. Il pourra donc ne pas être familiarisé avec le matériel enregistré; il traitera alors les informations exactement comme elles lui seront présentées. Toute donnée enregistrée de façon erronée ou illisible, tout chiffre mal écrit, peuvent soulever des difficultés qui ne seront pas nécessairement résolues correctement lors des stades ultérieurs du traitement et donc conduire à des conclusions également erronées lors de l'interprétation.

5.1 Choix des données

Il est difficile, avant le début d'une prospection exploratoire, de définir exactement les types et le volume de données à recueillir. Il est naturel que l'on s'efforce d'enregistrer le maximum de renseignements avec les plus grands détails. On s'aperçoit généralement ensuite que cela implique de la part des chercheurs embarqués un effort démesuré, et que cette situation risque de nuire au recueil des données essentielles. On constate également qu'un grand nombre d'information subsidiaires ainsi enregistrées ne sont jamais utilisées ultérieurement, soit qu'il s'agisse de données non quantitatives ou encore que leur saisie n'est pas été suffisamment normalisée.

Il incombe au biologiste responsable du programme de prospection de choisir les paramètres essentiels à mesurer, et les distinguer des informations que l'on souhaite seulement connaître. Il doit s'assurer que les normes établies pour la saisie des données sont adéquates et seront respectées et que ce qu'il attend de la croisière est compatible avec l'effectif et la qualification du personnel affecté à la réalisation du programme.

Les principaux objectifs d'une prospection halieutique portent normalement sur la description de la distribution, l'estimation de l'abondance et de la production potentielle de certaines espèces dans la zone prospectée. Pour cela il faut enregistrer pour ces espèces des informations précises sur le lieu de leur capture, les conditions dans lesquelles celles ont été effectuées, le moment de la capture et les prises par unité d'effort. Les quantités capturées peuvent être enregistrées de différentes façons (nombre de paniers, poids total, nombre de poissons, etc.) suivant les objectifs de la prospection et les conditions de travail en mer.

Il est essentiel de tenir compte des objectifs prioritaires et de veiller à ce que les documents et procédures adoptés avant la croisière conviennent à la saisie de l'information recherchée. Le personnel chargé de les recueillir devra bien connaître ces procédures ainsi que les normes minimales auxquelles doivent répondre les mesures.

5.2 Relevé des données

Bien conçus, les cahiers où seront relevées les données simplifient grandement la saisie de l'information originaire. Si les informations recueillies au cours d'une pros-

pection halieutique sont destinées à être triées et traitées sur ordinateur, il est indispensable de relever les données selon un format bien défini et toutes les ambiguïtés envisageables devront avoir été résolues avant que les cahiers remplis ne soient soumis au services de traitement automatique. Aussi, le personnel chargé du traitement automatique des résultats de la croisière devra-t-il être consulté sur la conception de cahiers de campagne; c'est en effet à ce stade que leurs desiderata particuliers devront être pris en considération.

Si les cartes perforées sont choisies comme support pour l'entrée des données, l'imprimé du cahier devra refléter le format adopté pour la perforation des cartes de façon que celle-ci puisse se faire rapidement et sans erreurs. Il existe pour l'entrée des données dans l'ordinateur des supports autres que les cartes perforées; les contraintes qu'ils imposent devront, le cas échéant, être prises en considération.

Les principales caractéristiques d'un bon cahier de bord sont les suivantes:

(a) Il doit convenir à l'enregistrement des données, c'est-à-dire offrir des espaces suffisants - sans risque d'entassement - pour la notation des chiffres; la tabulation devra être disposée de façon à ce que l'inscription des renseignements suive l'ordre naturel des opérations de mesure. Il est en effet, extrêmement désagréable d'avoir à enregistrer une donnée en haut d'une page, la suivante au bas de celle-ci, pour retourner ensuite vers le haut pour noter le troisième chiffre, etc.

(b) Les inscriptions devront être explicites. Les titres et les questions devraient être pré-imprimés de façon que le personnel chargé de noter les mesures sache immédiatement avec précision la nature, l'unité et la précision requises.

(c) Il doit pouvoir être utilisé pour les opérations de traitement ultérieur sans nécessiter de transcriptions préalables. Recopier des informations à la main est très inefficace et entraîne fréquemment des erreurs sérieuses.

(d) La disposition doit être aussi claire et simple que possible pour permettre en particulier au responsable de déceler rapidement les principales erreurs de mesure ou de transcription.

(e) Afin de réduire au maximum le volume des écritures en mer, il doit contenir autant d'informations pré-imprimées que possible. Lorsque deux ou plusieurs exemplaires des données seront nécessaires, elles devraient être produites immédiatement par l'utilisation de papier autocopiant.

Pour relever la variété des informations recueillies lors d'une prospection plusieurs cahiers distincts sont en général nécessaires. En général on utilise les documents ci-après:

(i) un journal scientifique de bord où le chef de mission note les informations élémentaires sur l'ensemble de la campagne;
(ii) un cahier où est relevée la liste des stations ou traits successifs; on y inscrira les renseignements sur la route suivie, les coordonnées, la date et l'heure des stations ainsi que des renseignements sur le type de mesures effectuées, avec des indications sur le type d'engin utilisé, etc;
(iii) un cahier où seront notées les captures en poids par exemple et par espèces, ainsi que les distributions de fréquence de longueur;
(iv) un document servant à enregistrer les données biologiques spéciales;
(v) un cahier de bord pour les échosondages, etc.

On trouvera ci-après des exemples de ces documents qui se sont révélés efficaces, non seulement en ce qui concerne l'enregistrement des données en mer mais aussi pour leur traitement ultérieur, qu'il se fasse à la main ou par ordinateur. Ces imprimés ont évidemment été élaborés pour répondre aux besoins spécifiques d'un laboratoire donné; ils devront par conséquent être adaptés aux impératifs d'autres prospections réalisées dans d'autres conditions. Ils ne conviennent pas tous parfaitement au transfert direct des données sur cartes perforées, mais pourraient être modifiés sans difficulté dans ce sens si besoin était.

5.3 Identification et narratif des campagnes

La plupart des instituts des pêches effectuent chaque année de nombreuses croisières ayant des objectifs divers: pêches exploratoires ou prospections de biomasses, prospections acoustiques ou campagnes océanographiques essentiellement destinées à recueillir des informations sur l'environnement, etc. Chaque croisière devra pouvoir être rapidement identifiée et classée selon son objet de sorte que les informations recueillies puissent être à une date ultérieure triées correctement et économiquement selon les besoins.

Si une prospection exploratoire doit être effectuée par plusieurs navires, par exemple dans le cadre de la collaboration entre différents laboratoires ou pays, il faudra dès le stade de la planification de la prospection concevoir une méthode commune d'identification des prospections et normaliser les règles de saisie des données. Des procédures non normalisées de saisie risquent en effet de provoquer des difficultés considérables lors de la compilation et de l'analyse ultérieures des données. Ainsi, si l'on n'a pas au préalable précisé si l'on doit noter les opérations en heure locale ou en heure GMT des confusions surgiront inévitablement au moment du collationnement des données pour toutes les analyses supposant connue l'heure.

On identifie habituellement les prospections ainsi que les campagnes et les stations faisant partie d'une prospection par un sigle ou, s'il s'agit de la croisière d'un seul navire, par un code (par exemple, F76/3/10) permettant d'identifier le navire d'après l'initiale de son nom, l'année de la prospection, le numéro d'ordre de la campagne (dans l'exemple ci-dessus, il s'agissait de la troisième campagne de prospection réalisée en 1976) et enfin par l'identification du trait ou de la station réalisé lors de ladite prospection. Pour identifier les prospections et leurs éléments constitutifs on peut employer des systèmes de codage plus complexes, mais l'essentiel est qu'une procédure normalisée soit adoptée et que tout le personnel chargé de remplir les cahiers en connaisse bien les principes.

En dehors des données relatives à la croisière, d'autres informations, concernant, par exemple, les différents modèles d'engin utilisés pendant la croisière, doivent être notées. Lorsque ceux-ci changent fréquemment en cours de croisière, il est plus facile d'identifier ces changements au niveau du code que d'écrire en toutes lettres, à chaque fois, tous les détails concernant les spécifications de chaque engin; une telle notation facilitera beaucoup les tris ultérieurs.

5.4 Identification des stations et enregistrement des mesures

Il faut noter avec précision toutes les informations: lieu où le navire a pêché, date et heure des opérations et conditions à ce moment. Ces informations sont dites maîtresses car elles correspondent aux mesures particulières réalisées à cette station sur les captures et aux autres données biologiques recueillies simultanément. Les données concernant les traits individuels sont fréquemment regroupées à zones ou strates données ou pour des intervalles de temps distincts; il importe donc que les informations sur le lieu et l'heure d'une station ou d'un trait soient recueillies de façon exacte.

La Figure 12 indique les renseignements qu'il faut noter pour identifier une station ou la localisation d'une opération de prospection. L'imprimé convient essentiellement aux pêches au chalut ou à la senne; il est cependant facile de l'adapter à d'autres modes de pêche. Ainsi, pour la pêche à la senne tournante, on pourra souhaiter inclure le temps de recherche comme élément de mesure de l'effort; pour la pêche à la palangre, il peut être nécessaire d'indiquer le nombre d'hameçons. Lorsqu'on emploie un engin de pêche particulier, il faudra définir une unité d'effort adéquate et l'inclure dans l'imprimé de bord. Ce qui importe avant tout, c'est d'assurer que le lieu, l'effort et le temps de pêche soient mesurés de façon exacte.

La Figure 12 fournit aussi un inventaire complet des observations à effectuer à chaque station ainsi définie. Toutes les informations requises figurent sur l'imprimé; elles peuvent être notées, puis vérifiées de façon systématique par le biologiste responsable de la croisière, ceci dans le but de déceler les erreurs possibles avant de classer l'imprimé avec le reste des autres données enregistrées lors de la même station.

DONNEES DE BASE SUR LES CHALUTAGES

Trait No.

Engin _____ | Date | Carré Statistique

Heure de mise en pêche	Heure de relevage	Durée	CAP	Tours par minute	Longueur des funes	Profondeur (Brasses / Mètres)
Lat. mise en pêche	Long. mise en pêche	Lat. relevage	Long. relevage	Ciel	Direction et force du vent	Station No.

Lectures Decca, mise en pêche — R G P

Coordonnées Decca, relevage — R G P

Secteur

Nombre total de paniers		Composition des captures, grand maillage	Composition des captures, petit maillage
Grand maillage	Petit maillage		

Observations (engins endommagés, etc.) _____

Nombre capturé (extrapolé)				Nombre capturé (extrapolé)				Nombre capturé (extrapolé)			
Code	Espèces	Grand maillage	Petit maillage	Code	Espèces	Grand maillage	Petit maillage	Code	Espèces	Grand maillage	Petit maillage
8	Scyllium canicula			9255	Vive						
9	Pristiurus			9263	Maquereau						
24	Squalus acanthias			9275	Gobies						
32	Spinax niger			9290	Callionyme lyres						
941	Pocheteau			9293	Blennies						
64	Chimaera monstrosa			299	Lumpenus lumpretaeformis						
73	Sprat			9305	Silures						
74	Hareng			320	Scorpaena (blue mouth)						
88	Argentina silus			324	Sebastes viviparus				INVERTEBRES		
89	Argentina sphyraena			325	Sebastes marinus				Homard		
131	Congre			9326	Grondins				Langouste		
9154	Macrouridés			345	Lompe				Langoustine		
160	M. poutassou			353	Turbot				Pandalus		
161	Merlan			354	Barbue				Crangon		
162	T. luscus			9355	Targeur				Cancer pagurus		
163	T. esmarkii			358	Cardine				Geryon affinis		
164	T. minutus			9360	Arnoglosse				Geryon tridens		
165	Gadiculus			363	Limande commune				Araignées		
166	Lieu jaune			364	Flet				Loligo		
167	Lieu noir			365	Plie				Alloteuthis		
169	Morue			366	Limande sole				Autres encornets		
170	Eglefin			367	Plie grise				Pecten maximus		
171	Brosme			368	Balai				Chlamys opercularis		
172	Petites lingues			369	Flétan						
173	Merlu			9371	Sole						
175	Lingue			391	Baudroie						
177	Lingue bleue										
9181	Mostelle			AUTRES ESPECES							
199	St. Pierre										
216	Chinchard										
9291	Labres										
9250	Lançons										

Recueilli par:

Vérifié par:

Figure 12 Exemple d'imprimé pour l'enregistrement des données relatives à une seule opération de pêche réalisée au cours d'une prospection

La première partie de l'imprimé sera remplie par l'officer de navigation, puis vérifiée par le chef de mission. Le numéro du trait, qui est généralement séquentiel, sert à vérifier s'il existe bien un imprimé pour chaque trait effectué. Toutes les instructions necessaires pour completer l'imprimé à chaque station devront être précisées; ces explications devront figurer dans les instructions permanentes sur les règles à suivre pour transcrire les mesures en mer. Ainsi, les instructions correspondant à l'utilisation de cette partie de l'imprimé seront les suivantes:

NUMERO D'ORDRE DU TRAIT	-	Code séquentiel identifiant le navire, l'année, la croisière et le trait (par exemple: B77/2/57). Tous les traits, qu'ils soient ultérieurement éliminés ou retenus doivent être identifiés par un numéro.
CARRE STATISTIQUE	-	Numéro de code correspondant à une subdivision appropriée de la zone prospectée. Dans le cas présent, les subdivisions employées correspondent à des carrés de 30 mi de côté; on pourra, bien sûr, avoir recours à d'autres subdivisions, si nécessaire.
HEURE DE MISE EN PECHE	-	Pour un chalut, elle est définie cc le moment auquel le treuil est bloqué et le chien croché. Pour d'autres engins, on indique l'heure correspondant au moment défini comme le début de l'opération de pêche. Il est souvent préférable de noter le temps en valeurs GMT.
HEURE DE RELEVAGE	-	Pour un chalut, c'est le moment où le chien est largué. Pour d'autres engins, on indiquera l'heure correspondant à l'opération déterminant la fin de la pêche; cette opération aura été précisée.
DUREE DU TRAIT	-	Différence entre l'heure du relevage et l'heure de mise en pêche. Cette indication est souvent utile pour vérifier les erreurs éventuelles sur les deux observations précédentes; il peut aussi s'agir de l'unité d'effort pour ce trait.
CAP	-	Noté en degrés.
TOURS PAR MINUTE	-	Les nombres de tours par minute du moteur pendant la pêche.
LONGUEUR DES FUNES	-	Longueur, mesurée en mètres, des funes filées durant le trait.
PROFONDEUR	-	Donnée par l'échosondeur, en mètres. Lorsqu'elle varie pendant le trait, on donnera la profondeur en début et en fin du trait, c'est-à-dire l'intervalle de variation.

LATITUDE DE MISE EN PECHE LONGITUDE DE MISE EN PECHE LATITUDE DE RELEVAGE LONGITUDE DE RELEVAGE		Coordonnées exactes de la position au moment où le filet est en pêche, puis celle où il est viré. L'écart entre ces deux positions permet de mesurer la distance effective de drague (si cela s'applique).
CIEL	-	Quatre cas sont prévus ici: aube, jour, crépuscule ou nuit. Chaque période de 24 heures est ainsi divisée en quatre parties et les mesures réalisées pendant l'une, le jour par exemple, peuvent être extraites si l'on désire classifier les données par rapport à cette indication.
DIRECTION (a) DU VENT (b) ET FORCE	-	(a) en degrés (b) suivant l'échelle Beaufort. Ces informations servent à tenir compte des conditions météorologiques dans l'analyse.
NUMERO DE LA STATION	-	A ne pas confondre avec le numéro du trait, qui suit un ordre séquentiel strict. Les numéros et positions des stations devraient être fixés pour chaque position de pêche lors de la planification de la prospection et peuvent être les mêmes pour les croisières répétées dans le cadre d'un même programme de prospection. Il est possible que les numéros affectés aux stations coïncident avec les numéros de code des traits, mais il est également possible, par suite de conditions atmosphériques favorables, par exemple, que les traits ne suivent pas le même ordre.
LECTURES DECCA	-	De nombreuses régions ne sont pas couvertes par un réseau DECCA; toutefois les lectures données par les réseaux de navigation auxiliaire de ce genre devraient être relevées, avant leur conversion en latitude et longitude. Ainsi, lorsque les positions peuvent être déterminées par relevé du gisement et de la distance par rapport à des points remarquables à terre, un espace devrait être prevu dans les imprimés pour noter cette information sous forme brute. Cette procédure permettra éventuellement de vérifier si les conversions en latitude et longitude ont été effectuées correctement.
SECTEUR	-	Ce renseignement sert à classer les positions par grandes ensembles qui peuvent comprendre eux-mêmes plusieurs unités petites (rectangles statistiques, e.g.). Ainsi si l'aire prospectée a été subdivisée pour l'échantillonnage en plusieurs strates, ces strates pourront être codées avant la prospection et tous les traits situés à l'intérieur d'une même strate pourraient être identifiés par le code correspondant à cette strate.

les captures

Les prospections halieutiques sont destinées à recueillir des informations sur la distribution de certaines espèces, ainsi que des estimations de leur abondance. Dans de nombreux cas, on capture simultanément plusieurs espèces, certaines en grosses quantités, d'autres en moindre abondance. Lorsque les pêches se font au chalut ou à la senne, on utilise souvent un cul à petit maillage ou encore d'un chalut à mailles commerciale, recouvert d'un cul à maillage plus fin. Il est utile d'utiliser un double cul pour recueillir des données séparées sur les prises retenues par le chalut ordinaire et celles qui s'en échappent.

Les pêches ramèneront fréquemment de grosses quantités de poisson et le personnel à bord ne sera pas en mesure de relever les informations requises sur l'ensemble de la prise. Plusieurs publications (Gulland, 1966; Paloheimo et Dickie, 1963; Pope, 1956) analysent les problèmes d'échantillonnage des captures en mer. Tout programme d'échantillonnage valable se propose essentiellement de donner une estimation non biaisée de l'importance et de la composition des captures. Après avoir décidé des méthodes de sous échantillonnage auxquelles on aura recours (cf. Chapitre 2), il sera nécessaire de concevoir un cahier permettant de noter toutes les informations sur les captures. Il devra en particulier permettre que tous les renseignements fondamentaux sur les diverses étapes du sous échantillonnage effectué soient notés sans difficulté et puissent être utilisés ultérieurement pour obtenir et vérifier rapidement les extrapolations finales.

Il faudra au moins enregistrer une estimation du nombre ou du poids de chaque espèce capturée. La Figure 12 illustre une façon méthodique de relever ces informations. Ce formulaire contient une liste pré-imprimée des principales espèces susceptibles d'être rencontrées au cours d'une croisière en mer du Nord. Le nombre total d'individus capturés pour chaque espèce est enregistré sous une forme bien définie. Chaque espèce est aussi affectée d'un numéro de code qui, en l'occurence, sert ultérieurement pour le traitement automatique des données.

Toutefois sans qu'il ait besoin d'attendre les résultats du traitement détaillé des données, le chercheur responsable pourra avec cet imprimé préparer dès la fin de la croisière un rapport préliminaire pour chaque espèce prédominante, en récapitulant les informations contenues dans les imprimés de base sur les traits et cela, sans avoir à se référer aux informations détaillées sur la composition des captures ni aux fiches de données biologiques. La préparation préalable d'une liste exhaustive de toutes les espèces susceptibles d'être capturées lors des futures croisières exploratoires pourra être difficile; il faudra néanmoins s'efforcer, dès la planification, d'identifier les espèces ou familles les plus susceptibles d'être rencontrées et d'élaborer un imprimé pour l'enregistrement méthodique des données. Lorsque la liste d'espèces ou de groupes d'espèces a été établie, il ne faudra pas la modifier lors des croisières ultérieures car cela rendrait malaisée, voire impossible, la compilation des résultats avec ceux obtenus lors des croisières antérieures à la modification.

5.6 Enregistrement des distributions de fréquence

Les données sur les distributions de longueur sont généralement recueillies, lors des prospections halieutiques, en vue de déterminer la structure des populations. Lorsqu'il est possible de déterminer aussi l'âge, les données de longueur serviront en combinaison avec les données d'âge, à dissocier la population totale en classes d'âge et, si possible, en cohortes.

Les distributions de longueur constituent souvent l'essentiel des résultats recueillis lors d'une prospection de ressources. A cause de leur importance majeure, il importe de disposer de cahiers bien conçus, que ce soit pour leur recueil en mer ou pour leur traitement ultérieur. Les Figures 13 et 14 fournissent des exemples d'imprimés conçus pour répondre à des besoins différents, propres à diverses espèces. Dans la pêcherie à laquelle correspondent ces imprimés, on s'intéresse de façon détaillée à 10 espèces pour lesquelles de gros

EGLEFIN

Trait No.

Maillage Grand/Petit

cm	OTO	Mesuré					Total extrapolé		OTO	Mesuré					Total extrapolé	
5								50								Observations:
6								51								
7								52								
8								53								
9								54								
10								55								
11								56								
12								57								
13								58								
14								59								
15								60								
16								61								
17								62								TOTAUX PARTIELS
18								63								
19								64								
20								65								
21								66								
22								67								
23								68								
24								69								
25								70								
26								71								
27								72								
28								73								
29								74								
30								75								
31								76								
32								77								
33								78								
34								79								
35								80								
36								81								
37								82								
38								83								
39								84								
40								85								
41								86								
42								87								
43								88								
44								89								
45								90								
46																
47								Total								
48								TOTAL GENERAL								
49																
Total																

	1er échantillon	2ème échantillon	3ème échantillon
dénombrés (non mesurés)			
Etendue des poissons dénombrés			
Fraction échantillonnée			Tous

Figure 13 Imprimé pour le relevé des distributions de fréquence de longueur (intervalle de classe = 1 cm) spécifiquement adapté pour l'églefin

LANGOUSTINES

| Trait No.

Maillage: grand/petit

	Mâles				MS	Total	Femelles				FS	FB	Total
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50													
51													
52													
53													
54													
Total													

	M	MS		FS	FB	Total
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
Total						

Total général

1ère échantillon

dénombrés (non mesurés)

Eten. de langoustines dénombrées

Fraction échantillonnée

2ème échantillon

dénombrés (non mesurés)

Eten. de langoustines dénombrées

Fraction échantillonnée

Observations:

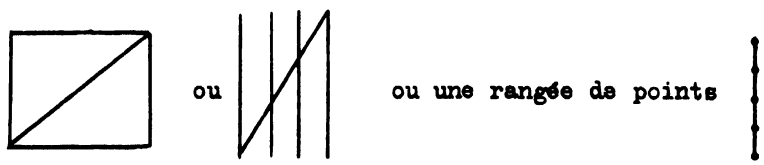
Figure 14 Imprimé pour le relevé des distributions de fréquence de longueur (intervalle de classe = 1 mm) par sexe et selon l'état de l'animal, spécialement adapté pour la langoustine

échantillons sont prélévés de façon systématique. Les données relatives à chacune de ces espèces sontnotées sur un imprimé normalisé de couleur différente, les espèces associées étant relevées en haut et au verso de l'imprimé. Une échelle de toutes les longueurs possibles pour cette espèce est pré-imprimée. Pour certaines espèces, l'intervalle de classe est de 1 cm, tandis que pour les espèces de petite taille, comme les nombreuses espèces pélagiques, on emploie un intervalle de 0,5 cm.

Il est indispensable de définir avant la prospection les dimensions qui seront mesurées pour chaque espèce (longueur totale ou longueur à la fourche) aussi que les intervalles de classes.

En statistiques, l'intervalle de classe est généralement identifié par son point médian; par exemple, l'intervalle 10,000 à 10,999 cm par son point médian de 10,5. C'est cette valeur qui est utilisée pour calculer la longueur moyenne à partir de la distribution de fréquence. En statistique de pêche on utilise habituellement un intervalle de classe de 1 cm entre - par exemple, 11,000 et 11,999 cm - que l'on définit par sa borne inférieure - ici 11,0. Il existe de bonnes raisons pour procéder ainsi: il est par exemple plus facile de combiner les classes définies de la sorte que des classes caractérisées par des limites qui ne sont pas des nombres entiers. Ce qui importe, c'est que l'ensemble du personnel connaisse bien, pour chaque espèce, l'échelle normalisée d'intervalles employée, de façon à toujours effectuer les mesures selon ces normes. Nombre d'organisations régionales de pêche ont défini des normes pour la mesure et l'enregistrement des distributions de fréquence de longueur, ceci dans le but de faciliter la compilation ultérieure des données recueillies sur les mêmes stocks par des pays ou institutions différents. Ces normes devraient être adoptées par tous les pays de la région de façon à assurer la compatibilité de données destinées à être combinées pour être analysées.

Il est également important de normaliser les procédures de relevé des fréquences portant sur des poissons mesurés ou dénombrés individuellement. On utilise différentes méthodes, par exemple:



on effectue la barre finale à la cinquième observation.

Chaque méthode a ses avantages, mais la dernière permet d'insérer un bien plus grand nombre d'observations dans un même espace d'imprimé; elle facilite aussi l'addition des fréquences, car il est aisé de regrouper en une dizaine deux séries de cinq sous la forme d'un H.

Les exemples d'imprimés donnés dans les Figures 13 et 14 sont basés sur la dernière méthode de notation; les lignes verticales aident à décompter les fréquences totales propres à chaque intervalle de classe.

Lorsqu'il n'est pas possible de mesurer tous les poissons capturés au cours d'un trait, il faut procéder à un sous échantillonnage. On a décrit au chapitre 2.8 la méthode à utiliser pour sous échantillonner les captures. On ne saurait trop insister sur l'importance qu'il y a à tirer au hasard les sous échantillons destinés à être mesurés. Il est extrêmement dangereux de prendre pour les mesurer quelques poissons empilés sur le pont car la plupart des gens tendent inconsciemment à choisir les plus gros individus, ce qui peut entraîner un biais appréciable dans l'établissement de la distribution de fréquence de taille de la population. Comme il était signalé au chapitre 2.6 relatif la distribution des opérations de

pêche dans la zone à prospectée, la précision peut être grandement accrue si, pour estimer la fréquence de longueur des poissons capturés, on stratifie les échantillons à mesurer. Il est donc préférable, lorsque l'on a à sous échantillonner pour effectuer des estimations de longueur et lorsque les captures comportent sur des tailles très diverses, de répartir d'abord selon les tailles la prise dans des paniers. On extrait ensuite aléatoirement de chaque groupe de taille, le nombre de paniers voulu dont on mesurera le contenu. Le nombre de poissons dans chaque intervalle de longueur des captures totales peut alors être calculé en multipliant le nombre mesuré dans chaque intervalle de taille par le multiplicateur approprié. Lorsque les cahiers d'enregistrement sont bien conçus, les cases adéquates pour l'extrapolation sont prévus. La Figure 13 fournit un exemple assez complexe de ce genre d'opération. Le contingent d'otolithes était de cinq par classe de longueur (cm); on les a prélevés, à chaque fois qu'il était possible, et relevés. Les poissons capturés étaient répartis en trois catégories de taille: (a) 20 à 29 cm; (b) 32 à 46 cm; (c) plus de 46 cm. Il fut impossible, dans le temps disponible, de mesurer tous les poissons; aussi après les avoir ventilés par catégories de taille dans les différents paniers, on a examiné deux paniers sur les quatre remplis les poissons de longueur inférieure à 30 cm. On a alors mesuré 103 poissons dans chacun des deux paniers examinés et on a prélevé les otolithes à 44 d'entre eux tandis que 74 poissons appartenant aux paniers échantillonnés étaient simplement dénombrés. De même, pour la catégorie de taille 32 à 46 cm, on a échantillonné quatre paniers sur sept, sur lesquels on a mesuré les otolithes de 92 poissons par panier, et décompté 34 individus par panier. Tous les poissons de plus de 46 cm ont été mesurés. Toutes les informations ainsi recueillies ont été relevés de façon méthodique et l'on peut maintenant extrapoler comme il convient chaque portion de l'étendue de la distribution puis procéder aux vérifications voulues puisqu'on dispose de toutes les informations nécessaires pour cela. Ainsi, pour l'échantillon d'églefin de la Figure 13, 37 poissons de 22 cm ont été mesurés, les otolithes de cinq d'entre eux étant également prélevés. Dans la catégorie de taille de 20 à 29 cm, on a mesuré 206 poissons en tout, et on en a décompté 148 dans deux paniers pour une capture totale égale à quatre paniers pour cette catégorie de taille. Par conséquent, les captures totales pour cette catégorie de taille étaient de: $2(206 + 148) = 708$ poissons. Le facteur d'extrapolation pour la distribution de fréquence de taille des poissons mesurés dans cette catégorie de taille est par conséquent:

$$\frac{708}{206} = 3,437$$

Si l'on multiplie la distribution de fréquence de taille mesurée, donnée à la colonne 1 de la Figure 13 par ce facteur, on obtient le total extrapolé (colonne 2) pour les tailles de 20 à 29 cm. De même, pour les églefins de la catégorie 32-46 cm, le facteur d'extrapolation sera:

$$\frac{7/4(368 + 136)}{368} = 2,397$$

si l'on multiplie pour cette classe de taille, la colonne 1 par le facteur d'extrapolation, on obtient les fréquences de la colonne 2. On n'a procédé à aucun sous échantillonnage des poissons de plus de 46 cm; leur fréquence doit par conséquent être conservée telle quelle. La colonne "Total extrapolé" contient alors l'estimation de la distribution de fréquence de longueur de tous les églefins capturés au cours de ce trait, le "Total général" représentant le nombre total de poissons capturés. Ces calculs sont aisément vérifiables et l'information nécessaire aux traitements ultérieurs, par exemple leur combinaison aux données relatives à d'autres, est contenue dans la colonne "Total extrapolé". Il est utile de noter ici les étapes de calcul des totaux partiels selon lesquelles l'ensemble des calculs s'est effectuée. ces indications faciliteront en effet le travail de ceux qui auront à vérifier les extrapolations. Nombre de ces calculs sont effectués dans des conditions telles qu'il est facile de commettre des erreurs élémentaires, aussi ne faut-il pas négliger les procédures de vérification de ce genre.

Un autre exemple d'imprimé est donné par la Figure 14. Celui-ci est conçu pour noter les données relatives à Nephrops norvegicus, espèce mesurée en mm et cela séparément pour les mâles et les femelles d'une part, pour les mâles (MS) et les femelles à carapace molle

(FS) ensuite et enfin, pour les femelles grainées (FB). La majorité des captures porte sur des individus compris entre 10 et 54 mm mais l'imprimé prévoit également qu'un nombre moins élevé d'individus de 55 à 70 mm peut être capturé. Au cas où un spécimen de plus de 70 mm serait pris, il pourrait être inclus dans la colonne OBSERVATIONS où l'on peut également noter d'autres commentaires. Ces imprimés se caractérisent essentiellement par le fait qu'ils ont été conçus et préparés avant de partir en mer, ce qui a pour effet de réduire le travail à bord et également de garantir que les données seront au cours des croisières successives recueillies et enregistrées sous une forme normalisée et donc compatible, que toutes les renseignements nécessaires passer ensuite de l'échantillon à la prise totale à laquelle chacun correspond seront notés et en particulier tous les renseignements sur la procédure de sous échantillonnage, de sorte que l'on puisse extrapoler les captures totales à partir des sous échantillons. Il peut être en effet difficile, si l'on n'a pas noté tous ces détails de façon systématique, d'être certain que les différences apparentes entre stations ou entre prospections sont réelles.

5.7 Données biologiques

On a souvent à recueillir des informations biologiques sur des échantillons de poissons capturés. Là encore, l'échantillon devrait être prélevé de façon à être représentatif de l'ensemble des captures ou à pouvoir en tirer, par extrapolation, une estimation représentative de l'ensemble des captures. On se reportera de nouveau au chapitre 2.8 pour les détails sur les méthodes d'échantillonnage, cette section se bornant à illustrer comment les données recueillies peuvent être enregistrées de façon systématique de sorte qu'elles puissent être aux stades ultérieurs de l'analyse, combinées aux données de capture pertinentes.

L'imprimé d'échantillonnage biologique, Figure 15, donne une illustration d'une méthode utile pour recueillir des renseignements détaillés sur des poissons pris individuellement. Les données maîtresses (espèce, navire, nom, etc.) sont nécessaires pour pouvoir ensuite recombiner cet échantillon avec les autres données sur la capture dont il a été tiré. Il faut également pouvoir relier ces informations aux spécimens prélevés pour des analyses biologiques plus fines au laboratoire après la croisière.

Ce formulaire permet d'enregistrer les renseignements sur la longueur, le poids, le sexe, la maturité et l'âge de chaque spécimen retenu; les unités de mesure pourront être précisées si celles qui sont imprimées ne sont pas retenues. La fiche est également conçue pour que les écritures suivent l'ordre naturel des observations; ainsi le poisson est d'abord mesuré, puis pesé; on détermine ensuite son sexe et son état de maturité; enfin on prélève des écailles ou les otolithes pour examen ultérieur.

Les règles à suivre pour remplir cette fiche se comprennent d'elles-mêmes. Enfin on a prévu la possibilité d'enregistrer des informations supplémentaires, non prévues en routine. De même, on a laissé de la place pour noter des observations d'ordre général permettant de préciser les mesures saisies.

5.8 Enregistrement des données acoustiques

Les progrès récents dans la technique acoustique permettent d'acquérir rapidement une grande masse d'informations et de les enregistrer sur support magnétique (cartouches ou cassettes de bande magnétique, etc.) ou de les récapituler à l'aide d'une imprimante digitale d'ordinateur. Toutefois, dans les cas où l'on dispose pas de tels équipements, il reste à relever manuellement des informations provenant de prospections acoustiques, sous une forme qui permette ensuite l'évaluation quantitative de la zone prospectée.

La Figure 16 donne un exemple du genre d'informations que l'on peut avoir à enregistrer lors d'une prospection acoustique. Dans ce cas il avait été prévu de lire la bande et de relever les données toutes les 15 minutes. Il est évidemment difficile de chiffrer précisement les échotraces; toutefois, avant la croisière, le personnel a été formé à classifier les échotraces de façon normalisée, par exemple par référence à un jeu de photographies montrant différents exemples classiques (cf. Chapitre 3 et Forbes et Nakken, 1972), de façon à intercalibrer et à rendre compatibles les observations effectuées par des observations différents.

Projet régional pour la prospection et le développement de la pêche (REM/571/278)

FICHE D'ECHANTILLONNAGE BIOLOGIQUE

Nom du navire

Nom d'espèce

Code du navire	Numéro d'ordre de la croisière	Numéro de code de la station	Numéro de l'échantillon	Jour	Mois	Année	Code de l'espèce	Code de la strate																

Nombre de poissons

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Longueur (mm) autre ( )

Poids (g) autre ( )

Sexe (mâle = 1, femelle = 2)

Maturité (stade)

Age (otolithe, écaille)

Nombre de poissons

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Longueur (mm) autre ( )

Poids (g) autre ( )

Sexe (mâle = 1, femelle = 2)

Maturité (stade)

Age (otolithe, écaille)

Code imprimé: REM/278/6

Figure 15 Imprimé pour l'enregistrement des données biologiques sur des individus isolés

FICHE DE RELEVE ACOUSTIQUE

Nom du navire

Feuille No.

Code du navire	Numéro d'ordre de la croisière	Jour	Mois	Année	Lat. 0 1	Long. 0 1	CAP	Vitesse	Echosoundeur: Marque	Modèle	Fréq.	Intervalle de profondeur	Vitesse du papier	Gain	Longueur d'impulsion	Fuseau Horaire	Fiche No.

Heure locale	Loch	Prof. du fond (m)	Couche diffuse: Nombre bancs	Couche diffuse: Ext. (mm)	Couche diffuse: Prof. (m) De	Couche diffuse: Prof. (m) à	Couche diffuse: Type	Couche diffuse: Ext. (mm)	Couche diffuse: Prof. (m) De	Couche diffuse: Prof. (m) à	Poissons isolés: Nombre	Poissons isolés: Prof. (m) De	Poissons isolés: Prof. (m) à	Notes Observations sur les échotraces Présence, absence, type, etc.

Code imprimé: REM/278/4

Ce document, qui a été conçu par le Projet régional de prospection halieutique dans le golfe entre l'Iran et la péninsule arabique suppose que l'information soit régulièrement enregistrée toutes les 15 minutes sous la forme d'une récapitulation de tous les événements survenus dans l'intervalle écoulé. La plupart des informations demandées se comprennent directement à la lecture de l'imprimé et sont compatibles avec les données figurant dans les autres cahiers scientifiques de la campagne. Il faut noter en particulier la marque et le modèle d'échosondeur ainsi que la fréquence et, si possible, fixer les réglages avant la croisière et les garder ensuite inchangés. Les explications fournies pour remplir les rubriques les moins explicites sont les suivantes:

(a) Bancs: on entend par là des échotraces groupées, denses et discontinues mais où, toutefois, il est impossible de distinguer des poissons individuellement.

(b) Couche diffuse: couche plus ou moins continue d'échos dans laquelle on peut ou non distinguer des traces individuelles.

(c) Poisson isolé: cible distincte, ne faisant pas partie d'un banc ou d'une couche.

(d) Nombre: dénombrement des bancs ou poissons isolés observés au cours des 15 minutes d'enregistrement.

(e) Extension horizontale: longueur mesurée en millimètres de l'échotrace sur l'enregistrement.

(f) Profondeur: moyenne, ainsi que les limites supérieure et inférieure de l'intervalle, en mètres.

(g) Type: identification de la gradation des couches diffusantes, lorsqu'on emploie une échelle normalisée (cf. section 4.3.1.2).

REFERENCES

Forbes, A. et O. Nakken, Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. 1972 Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO Man.Fish.Sci., (5):138 p.

Gulland, J.A., Manual of sampling and statistical methods for fisheries biology. Part 1. 1966 Sampling methods. FAO Man.Fish.Sci., (3):87 p.

Paloheimo, J.E. et L.M. Dickie, Sampling the catch of a research vessel. J.Fish.Res. 1963 Board Can., 20(1):13-25

Pope, J.A., An outline of sampling techniques. Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 140(1):11-20 1956

6. ANALYSE ET INTERPRETATION DES MESURES

Les chapitres précédents décrivaient les méthodes de prospection utilisées pour évaluer les ressources; ils indiquaient dans quelles circonstances elles sont utilisables et donnaient des directives sur les modalités d'utilisation de ces méthodes. Ces chapitres décrivaient les données à recueillir et les procédures à suivre pour les saisir. Ce chapitre expose comment les mesures doivent être utilisées pour en tirer les réponses que l'on attend des prospections et comment les résultats doivent être présentés aux utilisateurs pour déterminer l'orientation ultérieure de l'industrie de la pêche.

Le Chapitre 1 définissait les prospections destinées à évaluer les ressources halieutiques d'après les résultats qu'ils sont sensés obtenir, à savoir:

1. l'inventaire des espèces de poisson disponibles dans l'aire considérée;
2. leur distribution spatio-temporelle dans la zone prospectée;
3. les rendements que l'on peut escompter de leur pêche, ainsi que leurs variations saisonnières et spatiales dans la zone prospectée;
4. la taille de la ressource;
5. la production qu'elle est susceptible de fournir annuellement de façon soutenue.

Les questions fondamentales, pour l'administrateur ou l'investisseur qui envisagent le lancement de nouvelles pêcheries ou l'expansion d'une pêcherie existante, sont les suivantes:

(a) les rendements des navires dont on envisage l'acquisition seront-ils suffisants pour couvrir les dépenses d'investissement et de fonctionnement qui leur correspondent?

(b) quel est le potential total de capture; de celui-ci dépend en effet le nombre de navires nécessaires et le volume des investissements connexes (installations portuaires, usines de transformation, etc.);

(c) quels seront les conséquences sur les stocks de poisson et, par suite, sur les captures des navires déjà en place, de l'accroissement du taux d'exploitation correspondant à l'arrivée des nouveaux bateaux?

On admet généralement que la première question est fondamentale en matière de développement des pêches, comme elle l'est d'ailleurs pour l'investisseur, pris séparément. Pour le représentant de l'administration, elle peut être fallacieuse; ce qui lui importe en effet d'abord, c'est la contribution nette aux captures totales ou à l'économie nationale dans son ensemble, en d'autres termes la production marginale du nouveau navire. Celle-ci sera toujours inférieure, et généralement très inférieure, à la production actuelle, sauf pour les stocks très faiblement exploités (Gulland, 1968).

La réponse à la première de ces questions dépend des données recueillies lors des recherches sur les objectifs 1 à 3 ci-dessus. Les objectifs 4 et 5 conduiront à des évaluations à partir desquelles l'investisseur ou l'administrateur pourront prendre leurs décisions relatives à la seconde et à la troisième des questions ci-dessus.

Examinons maintenant comment à partir des données recueillies lors des prospections il est possible de répondre à chacune de ces questions.

6.1 Inventaire et répartition spatio-temporelle des espèces disponibles

Dans l'analyse des résultats de la prospection, il est intéressant de considérer conjointement les objectifs 1 et 2; ils représentent en effet dans une large mesure deux aspects différents du même paramètre, à savoir l'indice d'abondance relative du poisson sur les fonds prospectés. Les espèces de poisson disponibles pourraient évidemment être simplement énumérées en extrayant par exemple des imprimés de capture des espèces qui ont été

capturées une ou plusieurs fois. Une telle liste pourrait présenter quelque intérêt pour la recherche mais n'en aurait guère pour ceux qui cherchent à développer une certaine pêcherie étant donné que les captures isolées d'une espèce quelconque ne sauraient servir de base à une pêcherie. Aussi faut-il disposer de données quantitatives. De même, la distribution spatiale et saisonnière des espèces dans la zone prospectée doit être exprimée en termes quantitatifs, si l'on veut être en mesure de décider si la zone est susceptible de supporter une industrie de pêche rentable et, dans l'affirmative, quelles seront les espèces dont la pêche sera la plus profitable, au cours de quelle période de l'année, et dans quels secteurs de la zone.

Certaines méthodes indirectes, ainsi que les prospections acoustiques, peuvent fournir des éléments de réponse à cette question, néanmoins, les données le plus directement utilisables seront fournies par les prospections par pêches exploratoires. Leurs résultats seront exprimées en termes de prise par unité d'effort qui, lorsque l'effort est convenablement mesuré, donnent un indice de l'abondance de la population dans la zone au moment de la pêche. Si l'effort de pêche déployé lors de la prospection a été convenablement réparti dans l'espace et le temps, c'est-à-dire conformément aux critères analysés au Chapitre 2, les résultats des prospections halieutiques exprimés en captures par unité d'effort pourront fournir une mesure de l'abondance relative des espèces dans la zone ainsi que de leurs variations saisonnières et spatiales. Dans l'interprétation des données tirées des prospections d'évaluation des ressources, il faudra néanmoins tenir compte de deux facteurs: (a) il est peu probable qu'une prospection basée sur l'utilisation d'un seul type d'engin de pêche normalisé permette d'échantillonner convenablement toutes les espèces de poisson présentes dans la zone prospectée; ainsi, lorsque tout l'échantillonnage est effectué au chalut de fond, les espèces pélagiques seront très mal représentées ou même pas capturées du tout; (b) même pour un ensemble donné de poissons pêchés simultanément (les espèces démersales, par exemple) les captures obtenues pour les diverses espèces pour un même effort nominal ne seront pas nécessairement proportionnelles à leur abondance réelle, les rendements propres à chaque espèce étant en particulier affectés par leur disponibilité ainsi que par leur vulnérabilité à l'engin. Ainsi, on peut s'attendre à ce qu'un chalut de fond à faible ouverture verticale capture plus de poissons plats que de poissons ronds relativement à leurs biomasses respectives dans l'aire balayée. Ces facteurs risquent d'entraîner une certaine distorsion dans l'estimation de l'abondance relative des différentes espèces; ils ne devrait cependant pas entraîner de biais sérieux pour ce qui est des estimations propres à une espèce donnée, qu'il s'agisse des variations saisonnières (ou annuelles) ou des changements géographiques de l'abondance.

En pratique, pour l'évaluation des variations spatio-temporelles d'abondance, la meilleure mesure, du moins pour les prospections au chalut de fond, est sans doute la capture par heure ou par toute autre unité du temps de pêche. Ces mesures se déduisent facilement, pour chaque trait effectué lors d'une croisière, à partir des données relevées sur les imprimés comme celui reproduit à la Figure 12. On pourra ensuite calculer les valeurs moyennes des captures par unité d'effort relatives à une saison ou à une zone données en regroupant convenablement les résultats relatifs aux traits individuels.

Pour les espèces pélagiques, les meilleures mesures des variations d'abondance selon les zones et les saisons sont généralement fournies par les prospections acoustiques, complétées par des pêches de contrôle réalisées avec des engins appropriés pour identifier les espèces détectées. Lorsque la topographie des fonds ou les caractéristiques du comportement des espèces obligent à recourir à d'autres engins (casiers, filets maillants, etc.) les données peuvent être traitées de la même façon que pour les pêches au chalut de fond, chaque opération normalisée de l'engin en question constituant l'unité d'effort de base.

6.2 Estimation des rendements commerciaux probables

L'information recueillie sur les rendements réalisables par une pêcherie commerciale sera d'une importance capitale lorsqu'il s'agira de prendre la décision de créer ou non une nouvelle pêcherie. De tels rendements ne peuvent être estimés directement qu'en recourant à des prospections exploratoires. De premières évaluations peuvent être tirées des mesures

par détection acoustique des concentrations de poisson, estimations que l'on pourra étalonner en comparant les taux de captures obtenus sur des concentrations analogues dans d'autres secteurs. Cependant par suite des grandes différences de capturabilité existant entre les espèces et, pour une espèce donnée, entre différents secteurs, ces estimations risquent d'avoir des intervalles de confiance très larges. Les résultats des prospections exploratoires devraient elles aussi être exprimées en captures par unité d'effort. Bien que, pour les chaluts de fond la prise par heure de pêche constitue sans doute la meilleure unité d'abondance pour mesurer les variations saisonnières et spatiales de la densité de la population, cette mesure de rendement peut ne pas être significative pour les besoins de l'industrie ou de l'administration des pêches qui s'efforcent d'évaluer la viabilité économique d'une pêcherie potentielle. A cette fin, les captures par journée d'absence du port ou d'absence pendant un laps de temps plus étendu conviennent généralement mieux. Ce genre d'information est difficile à déduire directement des résultats d'une prospection de biomasse car il est normal que les navires de recherche changent fréquemment de fond et réalisent un nombre moindre de traits par jour de mer que les navires commerciaux. Mais il n'est pas difficile de tenir compte des temps morts probables dans l'activité d'un navire commercial si l'on dispose des informations appropriées sur la répartition de l'activité de navires commerciaux pêchant ailleurs dans des conditions comparables.

Une autre source de biais dans l'estimation des performances des bateaux commerciaux à partir des résultats des navires de recherche risque de provenir de la tendance que montrent les flottilles commerciales à concentrer leurs opérations sur les densités supérieures à la moyenne, densités qu'elles continuent d'exploiter jusqu'à ce que le rendement devienne insuffisant. Lors d'une prospection de biomasse au contraire, la localisation des pêches sera fixée de façon aléatoire par rapport à l'abondance du poisson: le navire effectuera dans chaque strate un nombre donné de traits à des positions prédéterminées indépendamment de l'importance possible des captures (voir Chapitre 3). En outre, l'engin choisi pour une prospection des ressources risque d'être un engin polyvalent, qui capture de façon suffisamment efficace le plus grand nombre possible d'espèces. La pêche commerciale modifiera sans doute le plan et le gréement de l'engin de façon à accroître son efficacité pour les espèces les plus prisées. Ces modifications risquent au contraire de réduire son efficacité vis-à-vis d'autres espèces. Enfin, les différences qui existent dans la motivation et l'emploi du temps des équipages des navires de recherche et commerciaux compliquent l'interprétation des résultats des prospections de recherche, même lorsqu'il s'agit de convertir le temps de pêche en performances commerciales. Pour toutes ces raisons, une prospection d'évaluation des ressources ne peut donner qu'une première approximation des rendements possibles d'un navire commercial. Au cas où les premières indications suggéraient que le développement d'une pêcherie pourrait n'être que marginalement rentable, il pourra être souhaitable de prévoir un projet supplémentaire de campagne de simulation de pêche commerciale sur la ressource.

Les captures des navires de pêche sont fonction des facteurs ci-après: (a) leur puissance de pêche; (b) le temps de pêche effective; (c) la densité du poisson sur le fond qu'ils exploitent. Lorsqu'on traduit les rendements fournis par une prospection en estimations des performances qu'une flottille commerciale serait susceptible de réaliser, il peut être préférable d'examiner séparément chacun de ces trois paramètres. Autant que possible, le navire utilisé pour la prospection devrait avoir des caractéristiques de puissance motrice, jauge et gréement pour l'opération des engins - voisines de celles des navires dont l'utilisation est envisagée pour développer la pêcherie. Les études sur la puissance de pêche des chalutiers de fond montrent en effet que, au moins entre certaines limites, celle-ci augmente de façon à peu près linéaire avec la puissance motrice du moteur et la jauge brute. De la sorte, si le navire de recherche n'est pas trop différent, on peut corriger ses résultats pour tenir compte de différences limitées dans la puissance de traction par exemple. De même, la puissance de pêche des lignes, casiers ou filets maillants est largement fonction du nombre d'engins mis en oeuvre; là encore, on pourra corriger les résultats des prospections proportionnellement aux nombres respectifs. Pour les engins pélagiques, tels que senne tournante et chalut pélagique, l'estimation du pouvoir de pêche est beaucoup plus complexe. Il apparaît souvent un tonnage ou une vitesse de dragage critiques, en-deça desquels le rendement tombe brutalement. En conséquence, toute extrapolation à des navires

ou des engins plus petits ou moins puissants risque d'être trompeuse. On trouvera dans Pope (1975) des analyses intéressantes sur la question de la mesure de l'effort de pêche.

Il est assez facile de corriger le temps de pêche à condition de disposer des données appropriées sur le temps pendant lequel le navire de prospection a effectivement pêché et sur celui que la flottille commerciale sera en mesure de consacrer effectivement à la pêche. On recherchera des renseignements sur ce dernier paramètre dans l'analyse de l'activité de bateaux opérant ailleurs, dans des conditions comparables en ce qui concerne le climat, les habitudes de travail des pêcheurs, etc.

Les plus graves problèmes que soulève l'extrapolation des résultats d'une campagne d'évaluation des ressources aux opérations commerciales, risquent d'être liés à la répartition hétérogène du poisson sur le fond. Comme on l'a vu précédemment, les navires commerciaux apprennent rapidement à concentrer leurs opérations sur les fonds le plus productifs et à adapter leurs engins de façon à porter leurs performances au maximum pour les espèces les plus intéressantes. La prévision des gains d'efficacité que l'on peut attendre de ces efforts est difficile et donc imprécise. Mais il faut s'attendre à ce que les gains de rendement de la pêche commerciale soient substantiels. On peut faire des suppositions sur les possibilités de concentration des flottilles commerciales sur les densités de poisson les plus fortes. On examinera la distribution de fréquence des rendements obtenus par le navire de prospection. Empiriquement on prend pour cela souvent comme rendement commercial possible la moyenne de la moitié supérieure de l'éventail des rendements obtenus lors d'une campagne de simulation réalisée spécifiquement pour estimer les rendements ou encore la moyenne des 10 ou 20 pour cent supérieurs de la distribution lorsqu'il s'agit d'une prospection d'évaluation de la biomasse. Il faudra aussi toujours se souvenir, et il conviendra de le souligner dans le rapport final de la prospection, si les rendements obtenus pendant la prospection se réfèrent à une ressource vierge ou peu exploitée. En effet à mesure que la pêcherie ira en se développant, l'abondance du stock et par suite les rendements des navires d'une puissance de pêche donnée vont décliner. Le modèle simple de Schaefer nous indique, par exemple, que le maximum de production que le stock pourra en moyenne produire sera obtenu lorsque la biomasse, et par conséquent les rendements, auront baissé de moitié par rapport à leurs valeurs pour le stock à l'état vierge (c'est-à-dire avant que n'ait commencé l'exploitation).

6.3 Estimation de la biomasse instantanée

Les méthodes d'estimation de la taille d'un stock, à partir des prospections d'oeufs et de larves ou acoustiques, ont été amplement examinées aux Chapitres 3 et 4. Par suite, nous ne considérons ici que l'estimation de la taille de la population à partir de pêches exploratoires.

Lorsque pour échantillonner convenablement les espèces étudiées il faut recourir à des engins tels que lignes, casiers, chaluts pélagiques ou senne tournante, etc., on peut obtenir une mesure de l'abondance relative de la population et en suivre les variations dans le temps. Néanmoins, il ne sera pas possible de convertir les rendements obtenus avec ces engins en estimations de l'abondance absolue, soit parce qu'on ne peut mesurer la superficie échantillonnée (cas des lignes ou des casiers) soit encore, comme avec les engins pélagiques, parce qu'il n'est pas possible d'échantillonner un espace tri-dimensionnel avec une intensité suffisante pour obtenir une estimation de fiabilité acceptable.

Avec les chaluts démersaux toutefois les résultats d'une prospection convenablement planifiée peuvent fournir une première approximation acceptable de la taille probable de la population ou, tout au moins, de la partie de la population disponible pour le chalut et vulnérable à celui-ci. Cela requiert que l'on convertisse d'abord les captures effectuées à chaque trait en estimations de l'abondance absolue du poisson, c'est-à-dire en biomasses présentes par unité de surface balayée par le chalut.

Une fois déterminée l'aire balayée au cours d'un trait, la densité de poissons, c'est-à-dire la biomasse par unité d'aire dans la zone j (D_j) est donnée par l'équation

$$D_j = C_j/(q_j a_j) \qquad \ldots\ldots 1$$

où q_j est le coefficient de capturabilité (Paloheimo et Dickie, 1964) c'est-à-dire la proportion de poissons présents dans l'aire balayée par le chalut qui est capturée au cours de l'opération de pêche

C_j le poids capturé au cours des traits réalisés dans la zone j, et

a_j l'aire balayée au cours des traits réalisés dans la zone j.

Si la superficie totale de la zone j est A_j, le poids de la population P_j dans cette zone sera:

$$P_j = \frac{A_j C_j}{a_j q_j} \qquad \ldots\ldots 2$$

Cette méthode ne donne qu'une approximation de la taille réelle de la population, cela pour les raisons suivantes: (a) la superficie effectivement balayée par le chalut est malaisée à évaluer; elle risque d'être supérieure au produit de la distance de drague par l'espacement entre les extrémités des deux ailes, car les deux bras qui les prolongent rabattent une certaine quantité du poisson dans la bande balayée par le chalut; elle ne sera pas non plus égale à la distance de drague multipliée par la distance entre les panneaux de chalut, car les bras ne rabattent pas la totalité du poisson présent sur leur passage; (b) q_j est également difficile à évaluer dans la mesure où il représente la résultante de plusieurs facteurs. En premier lieu, une correction est nécessaire pour tenir compte de la partie de la population non disponible au chalut, soit qu'elle se trouve au-dessus de la corde de dos, soit qu'elle soit enfoncée dans le sédiment, hors de portée effective du bourrelet inférieur. En second lieu, tous les poissons situés dans le volume effectivement filtré par le chalut ne seront pas capturés puisqu'une proportion réussit toujours à éviter l'engin en passant à l'extérieur de l'ouverture (vulnérabilité). Troisièmement, tous les poissons qui pénètrent dans le chalut ne sont pas retenus, puisque certains réussiront passer à travers des mailles (sélectivité).

On peut admettre, en première approximation, que le produit des coefficients de disponibilité et de vulnérabilité est égal à 1,0; on obtiendra ainsi la limite inférieure de l'intervalle d'estimation de la proportion du stock composée d'individus assez grands pour être retenus par le chalut. Si l'on connaît les paramètres de sélectivité, on pourra apporter une correction pour tenir compte de l'échappement à travers les mailles des poissons dont la taille est comprise dans l'intervalle de sélection. Il faut observer que q_j étant très certainement inférieur à 1,0, on tend généralement à sous estimer la biomasse. Aussi faut-il recueillir le maximum d'informations, notamment sur la distribution verticale de l'espèce considérée et sur son comportement face à un chalut, dans le but d'aboutir à une estimation de q aussi précise que possible. On peut par exemple obtenir des informations utiles sur la présence de poissons au dessus de la corde de dos en faisant fonctionner l'échosondeur lors des traits de chalut.

On notera que dans l'équation 2 ci-dessus, on supposait que l'abondance du stock, dans l'aire a_j balayée par le chalut fournissait une estimation non biaisée de l'abondance par unité de surface pour l'ensemble de l'aire j (A_j). Pour limiter au maximum une des causes de biais liée à la répartition hétérogène du poisson, il importe de suivre avec soin les préceptes données au Chapitre 2, sur le choix des positions de chalutage. La précision de l'estimation P_j dépend aussi de la variance de l'estimation de l'abondance en a_j. De ce fait il faudra suivre également les conseils relatifs à l'échantillonnage stratifié aléatoire donnés dans ce même chapitre, de façon à réduire l'erreur aléatoire de l'estimation. En appliquant un tel schéma d'échantillonnage stratifié, l'estimation de la population dans toute la zone prospectée pourra être calculée de façon plus exacte en estimant P_j pour chaque strate d'échantillonnage et en sommant ensuite les valeurs ainsi obtenues. Si l'on se

trouve en présence de n strates dans la zone prospectée, l'estimation de la biomasse de la région sera donnée par l'équation

$$\sum_{1}^{n} P_j$$

$\sum_{1}^{n} \frac{A_j C_j}{a_j q_j}$ la formule de la variance de cette estimation par

$$\sum_{1}^{n} \text{var } C_j \left(\frac{A_j}{a_j c_j}\right)^2$$

Il convient de noter que le fait de remplacer par d'autres, un ou deux traits, lorsque les positions pré-déterminées se révèlent inchalutables (ainsi qu'il a été conseillé au Chapitre 2) n'affectera pas l'exactitude de l'estimation à condition que le nombre de traits déplacés reste faible. Si, par contre, une proportion notable de l'aire d'une strate se révèle inchalutable, on risque d'obtenir une estimation nettement biaisée de l'abondance dans cette strate en ne chalutant que dans la portion chalutable et en extrapolant le résultat de ces captures à l'ensemble de la strate. On peut, si une partie importante d'une strate n'est pas chalutable, pondérer les captures effectuées dans cette strate proportionnellement à l'aire effectivement chalutable et admettre le fait en précisant dans le rapport que la population totale est sous estimée d'une quantité égale à la quantité de poisson présente dans la partie non chalutable.

6.4 Estimation de la production potentielle

En pratique, l'estimation de la taille d'un stock exprimée en tonnes d'une espèce présente dans la zone prospectée à un moment donné ne présente pas un intérêt immédiat pour les non scientifiques qui ont commandé la prospection. L'administrateur comme tout investisseur potentiel souhaite d'avantage connaître la production moyenne maximale du stock, c'est-à-dire combien on peut espérer produire en moyenne chaque année de façon régulière. Cela est fonction non seulement de la taille absolue du stock exploitable, mais aussi de son taux de renouvellement. Celui-ci dépend à son tour de la durée de vie des individus qui le composent et du taux de remplacement des individus qui disparaissent. Plus la durée de vie moyenne est courte et plus élevé le taux de remplacement, plus grande sera la proportion de la biomasse que l'on pourra prélever chaque année.

L'estimation de la biomasse instantanée constitue donc une étape essentielle dans le processus d'estimation de la production potentielle annuelle. Lorsqu'un stock n'est pas encore exploité commercialement, cette productivité peut être déduite des estimations de la biomasse vierge fournie par les prospections. Gulland (1970) montre que si l'on part, soit du modèle simple de Schaefer (1954) - le potentiel maximum étant alors obtenu lorsque la biomasse a baissé de moitié par rapport à son niveau avant exploitation - ou encore du modèle à recrutement constant de Beverton et Holt, une valeur approchée du potentiel maximum de capture dans laquelle M est le taux de mortalité naturelle et B_o la biomasse vierge (inexploitée) du stock exploitable

Y_{max} peut être tirée de l'équation: $Y_{max} = 0,5\ MB_o$

Pour tirer Y_{max} de cette équation, il faut donc non seulement connaître la taille du stock vierge, mais aussi le taux de mortalité naturelle du stock. Ceci peut se faire de différentes façons: à partir de la relation qui existe entre la mortalité naturelle et l'âge maximum de la population vierge (Figure 17) à partir de la relation entre M et la constante de croissance K (Beverton et Holt, 1959) à partir du taux de mortalité naturelle d'une espèce voisine pour laquelle ce coefficient est connu ou encore à partir d'une courbe de captures (Baranov, 1918) obtenue après échantillonnage biologique de la population vierge.

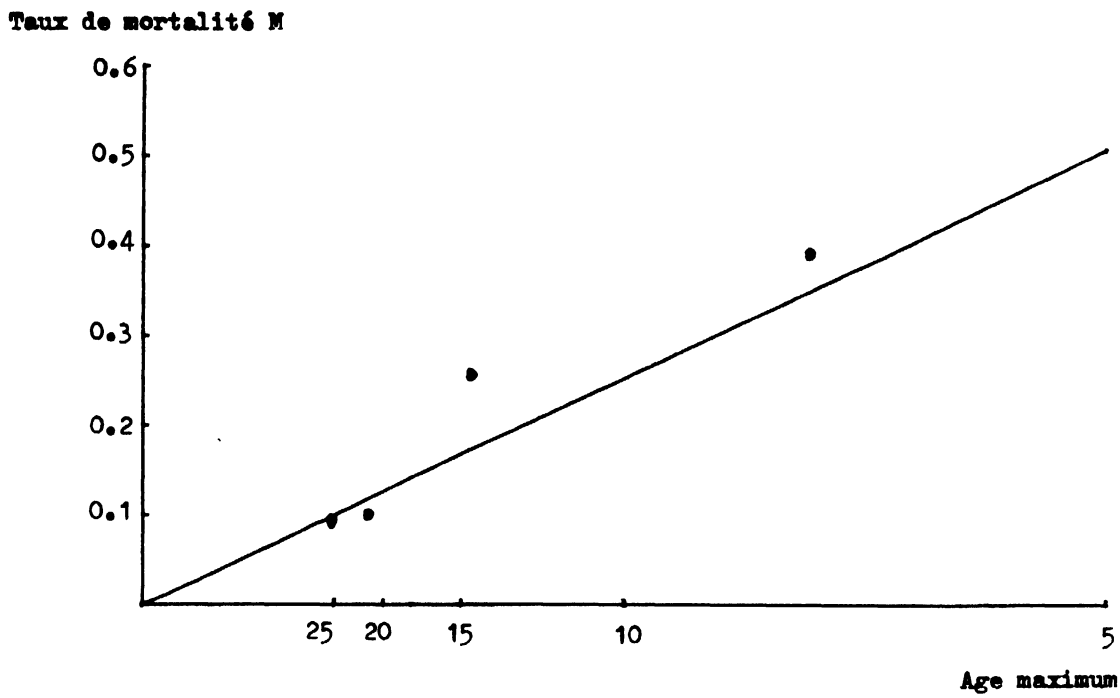


Figure 17 Relation entre le taux de mortalité naturelle M et l'âge maximum (d'après Tanaka, 1960)

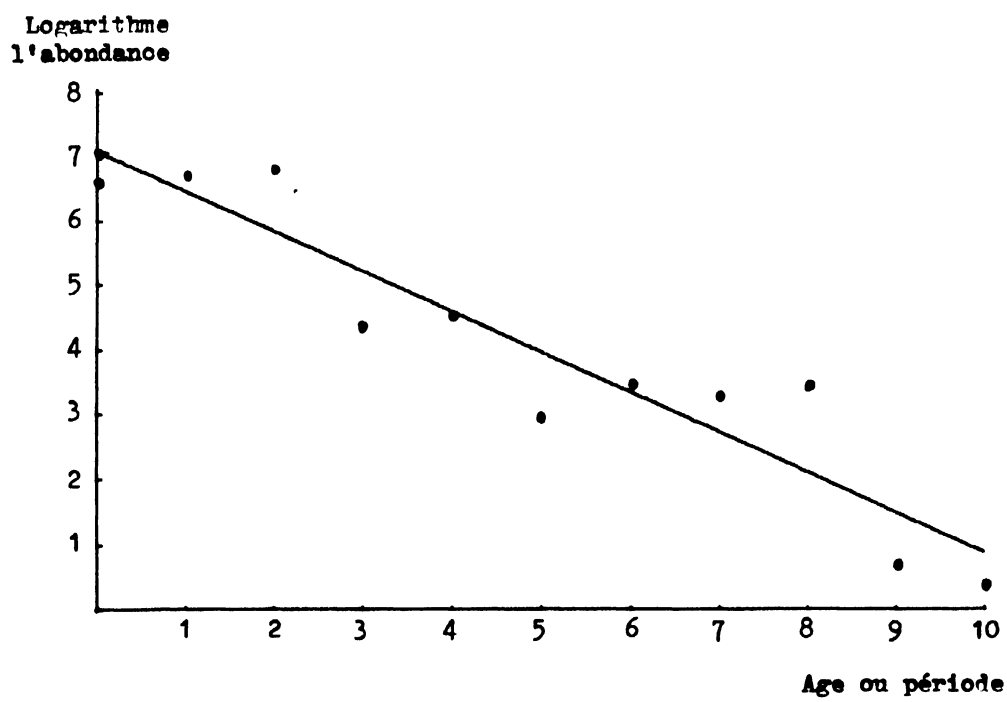


Figure 18 Détermination graphique de M à partir de la relation linéaire entre le logarithme de l'abondance et l'âge ou le temps

La relation entre l'âge maximum et le taux de mortalité naturelle est sans doute la méthode la plus facile à appliquer, puisqu'elle requiert seulement de convertir, à l'aide de la droite de régression de la Figure 17, l'âge du plus vieux poisson de l'espèce en question rencontré au cours de la prospection et de lire sur l'axe des Y le taux de mortalité naturelle correspondant. D'après cette relation une population dont l'âge maximum serait de 10 ans aurait un taux de mortalité naturelle de l'ordre de 0,25. Toutefois, l'âge maximum sur l'axe des X correspond à l'âge le plus avancé atteint par les poissons de cette population et les poissons de cet âge peuvent ne pas être représentés dans les captures réalisées lors de la prospection, soit qu'ils se soient trouvés en dehors de la zone prospectée ou dans une tranche de profondeur différente de celle où opère l'engin ou encore parce que ces poissons ne sont pas vulnérables à l'engin utilisé. En outre, les plus vieux poissons sont très rares, ce qui fait que la probabilité de leur capture est faible.

Beverton et Holt (1959) ont montré qu'à l'intérieur de certains groupes d'espèces (clupéidés, gadiformes, salmonidés, pleuronectidés), il existait une relation à peu près linéaire entre le taux de mortalité naturelle et la constante K de l'équation de croissance de von Bertalanffy. Si l'on connaît K pour une espèce appartenant à l'un de ces groupes, on peut déduire de la relation appropriée une estimation de la valeur probable de M. Cette méthode risque toutefois d'avoir une application limitée aux données tirées des prospections car ce rapport reste indéterminé pour beaucoup de groupes fréquemment rencontrés dans les prospections. Par ailleurs les estimations du coefficient K chez ces espèces ont rarement une précision suffisante.

Pour une population inexploitée, les estimations d'abondance des classes d'âge successives à un moment donné, par exemple les estimations de leur abondance moyenne annuelle ou de leur abondance moyenne pendant la même saison sur plusieurs années, peuvent être utilisées pour estimer le taux de mortalité naturelle à condition que les recrutements successifs des classes dont les effectifs sont comparés n'aient pas varié de façon excessive.

Pour minimiser les effets des fluctuations du recrutement sur l'estimation de la mortalité, la meilleur méthode, notamment lorsque la population ne comporte qu'un petit nombre de classes annuelles, consiste à porter sur du papier semi-logarithmique les estimations d'abondance des classes d'âge en fonction de leur âge exprimé en années. La pente de la droite qui ajuste ces points fournit une estimation du taux de mortalité totale. Lorsque le stock n'est pas exploité, la mortalité totale est réduite aux causes naturelles. On peut utiliser pour cette méthode graphique les abondances exprimées en valeur absolue (obtenues comme il est décrit à la section 6.3) ou en prise moyenne par unité d'effort. Ce qui importe c'est que les abondances des groupes d'âge soient exprimées dans les mêmes unités. La Figure 18 montre une série de données de ce type choisies arbitrairement. L'abscisse représente l'âge ou le temps, car les indices d'abondance portés en ordonnées pourraient se référer, soit à la même classe d'âge suivie d'année en année, soit à tous les groupes d'âge successifs entièrement recrutés et successifs, présents dans les captures réalisées dans un laps de donné (courbe de captures).

Les classes d'âge qui ne sont pas entièrement recrutées se situeraient à gauche et en dessous de la droite d'ajustement; dans ce cas, il faudrait évidemment ne pas en tenir compte dans le calcul de la régression. La droite de régression ainsi tracée a une pente de 0,62, valeur qui correspond à notre estimation de la mortalité instantanée; l'écart type de l'estimation est 0,25 ce qui est fort mais non exceptionnel avec cette méthode.

Les estimations de la mortalité naturelle que l'obtient à partir de l'une ou de l'autre de ces données risquent d'être assez imprécises. Cette imprécision s'ajoute à celle de l'estimation de la biomasse du stock vierge, examinée dans la section précédente, ce qui fait que l'évaluation de la production potentielle que l'on peut tirer de l'équation de Schaefer ne peut représenter qu'un ordre de grandeur probable et non un chiffre exact sur lequel on peut baser des plans définitifs d'expansion à long terme. Néanmoins, même aussi imparfaite cette première approximation suffira le plus souvent pour juger si l'accroissement initial envisagé pour une pêcherie est possible et sur quelle échelle il faut concevoir les plans de développement à moyen terme. Une fois que la pêcherie commerciale aura été lancée, il

importera de préciser ces premières estimations du potentiel de capture en ayant recours pour cela aux possibilités d'échantillonnage beaucoup plus considérables offertes par la flottille commerciale et aux compléments d'information que sont suceptibles de fournir les modèles analytiques, comme celui de Beverton et Holt (1957). Le présent manuel ne traite pas ces aspects de l'évaluation, on en trouvera une bonne introduction dans Gulland (1969).

6.5 Présentation des résultats

On a souligné à maintes reprises dans ce manuel que les prospections d'évaluation des ressources ont pour objet de déterminer les ressources susceptibles d'être mises en valeur dans une zone donnée, les rendements envisageables et les productions totales annuelles escomptables. Ces informations serviront en pratique à guider ceux qui sont concernés par le développement d'une pêcherie. Quelle que soit la validité des réponses à ces questions, nulle prospection ne répondra à ces objectifs si les résultats ne sont pas diffusés dans les meilleurs délais et sous une forme intelligible aux administrateurs, armements, pêcheurs, ou tout autre utilisateur potentiel.

La présentation des résultats devrait différer selon les utilisateurs. S'il existe une flottille, même peu développée, dans le secteur, les informations obtenues sur l'existence de zones à densité élevée dans le rayon d'action de la flottille en question devraient lui être soumises le plus vite possible, avant que la distribution du stock n'ait le temps de changer. Pour l'administrateur et l'armateur qui envisagent d'investir, il faudra prévoir la diffusion régulière de rapports fournissant les chiffres nécessaires à l'évaluation et à la planification des investissements, cela même si les chiffres au moment de la publication ne sont que provisoires.

Le rapport final, qui contiendra une analyse détaillée de la distribution saisonnière et spatiale ainsi que des estimations de la biomasse du stock et de son potentiel de capture, ne peut être préparé qu'une fois achevés les travaux en mer. Il ne faudra cependant pas prolonger indûment le laps de temps qui s'écoule entre la fin des travaux sur le terrain et la présentation des résultats, même si c'est dans le but de parfaire les estimations; si le délai de publication devient excessif en effet, les investissements risquent de dépasser la productivité de la ressource ou encore, les investisseurs potentiels peuvent perdre leur intérêt. Enfin, les rapports devraient être présentés sous une forme attrayante et compréhensible, en un nombre suffisant d'exemplaires pour pouvoir être distribués à tous les utilisateurs potentiels.

REFERENCES

Baranov, F.I., On the question of the biological basis of fisheries. Izv.Nauchno-Issled. 1918 Ikhtiol.Inst., 1(1):81-128 (in Russian)

Beverton, R.J.H. et S.J. Holt, On the dynamics of exploited fish populations. Fish.Invest. 1957 Minist.Agric.Fish.Food GB (2 Sea Fish), (19):533 p.

_____, A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature and the relation 1959 to growth and physiological caracteristics. In Ciba Foundation, Colloquia on ageing. The lifespan of animals. Londres, Churchill, Vol.5:142-77

Gulland, J.A., The concept of the marginal yield from exploited fish stocks. J.Cons.CIEM, 1968 32(2):256-61

_____, Manuel des méthodes d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première 1969 partie. Analyse des populations. FAO Man.Fish.Sci., (4):160 p.

_____, Science and fisheries management. J.Cons.CIEM, 33(3):471-7 1971

Paloheimo, J.E. et L.M. Dickie, Abundance and fishing success. Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 155: 1964 152-63

Pope, J.A. (ed.), Measurement of fishing effort. Rapp.P.-V.Réun.CIEM, 168:102 p. 1975

Schaefer, M.B., Some aspects of the dynamics of populations important to the management 1954 of commercial marine fisheries. Bull.I-ATTC, 1(2):27-56

Tanaka, S., Studies on the dynamics and the management of fish populations. Bull.Tokai 1960 Reg.Fish.Res.Lab., (28):1-200

7. CONCLUSIONS ET CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE CHOIX DES METHODES DE PROSPECTION

Les prospections de ressources halieutiques ont pour objet pratique de rassembler les informations nécessaires pour décider rationnellement de l'opportunité qu'il y a à se lancer dans la mise en valeur d'une ressource inexploitée ou dans l'expansion d'une pêcherie qui n'exploite encore que marginalement un stock. Les deux principales questions qui se posent alors, et auxquelles une prospection des ressources peut répondre, sont les suivantes:

(a) les navires que requiert le lancement ou le développement d'une pêcherie captureront-ils assez de poisson pour que leur exploitation soit rentable? Pour répondre à cette question, il faut envisager des facteurs comme la composition spécifique des captures, la répartition du poisson à l'intérieur de la zone prospectée ainsi que les variations saisonnières et annuelles de la densité et donc des rendements. Tous ces éléments sont essentiels à toute évaluation de la viabilité économique d'une flottille de pêche ainsi qu'à la détermination du port d'attache de la flottille;

(b) quel sera à long terme la production moyenne de la ressource? La réponse à cette question est fondamentale lorsqu'il s'agit de décider du tonnage final de la flottille destinée à exploiter la ressource et du volume des investissements que nécessiteront l'infrastructure portuaire ainsi que les installations de transformation et de distribution du produit fini.

On a vu précédemment que les questions auxquelles la prospection doit répondre sont:

(1) quelles espèces de poisson sont disponibles dans la zone?

(2) quelle est leur répartition dans la zone et comment cette distribution varie-t-elle selon les saisons et d'une année à l'autre?

(3) quels rendements peut-on escompter et comment ceux-ci varient-ils selon les saisons et à l'intérieur de la zone?

(4) quelle est la taille de la ressource et quelle production annuelle permettra-t-elle à long terme?

Avant de planifier une prospection destinée à répondre à ces questions, il faudra examiner de façon aussi complète que possible toute l'information déjà disponible sur l'écologie de la région, ainsi que sur les espèces de poisson qui vivent dans la zone et dans les secteurs adjacents. C'est dans ce contexte que les méthodes indirectes examinées au Chapitre 4 sont intéressantes. Toute donnée déjà disponible sur la production primaire et secondaire, sur l'abondance des oeufs et larves de poisson ou sur la nourriture des formes trophiques supérieures, devrait être examinée pour en dégager certaines idées sur la nature et l'ordre de grandeur possibles des ressources halieutiques de ladite zone. Ces informations seront particulièrement utiles pour prévoir si la distribution de la densité de stocks de poisson est susceptible de varieur notablement au cours de l'année. Ce premier examen peut conduire à l'idée que la zone n'a qu'un faible potentiel de développement; dans ce cas, l'organisme qui a commandé la prospection devra en être informé. Il pourra alors décider de ne pas poursuivre le projet.

Cette décision lui incombe et il devra pour la prendre disposer des meilleures informations disponibles. Dans la plupart des cas, toutefois, il ne sera pas judicieux de consacrer au rassemblement des données que requièrent ces méthodes indirectes une place prééminente dans le projet de prospection lui-même.

Bien que les prospections de biomasse définies au Chapitre 2 soient susceptibles de conduire à une estimation des rendements possibles, ces estimations seront généralement imprécises et souvent biaisées. Si les estimations que l'on obtiendra ainsi sont manifestement très supérieures ou très inférieures au seuil de rentabilité nécessaire pour décider d'accroître l'exploitation, ces indications seront tout à fait utilisables. Par contre, si

le rendement correspondant au seuil de rentabilité tombe entre les limites de confiance de cette estimation, il conviendra de prévoir une campagne de simulation de la pêche commerciale de façon à déterminer de façon plus exacte les rendements pêchables. Mais il faut reconnaître que les prospections de biomasse et les simulations de pêches commerciales ne sont pas compatibles, car elles se fondent sur des stratégies de prospection tout à fait différentes. Les prospections de biomasse permettent d'obtenir, si les données sont bien utilisées, une idée approximative des rendements qui peut être insuffisante pour décider au développement initial d'une nouvelle pêcherie; les simulations de pêches commerciales ne peuvent fournir d'estimations valables de l'abondance relative ou absolue des stocks ni de leur potentiel de capture.

Aussi, faudra-t-il décider, dès le premier stade de la planification d'une prospection, auquel de ces deux objectifs (estimation exacte des rendements commerciaux probables ou évaluation du potentiel de capture) la priorité devra être donnée. Cette décision est essentiellement de la compétence de l'organisme commandant la prospection; cependant le biologiste qui devra réaliser la campagne aura à expliquer de façon complète et objective des choix qui se posent et leurs conséquences.

Normalement, une prospection de biomasse fournira un grand nombre de renseignements fondamentaux mais, si cette option est retenue, il faudra préciser qu'il pourrait devenir nécessaire d'organiser par la suite une campagne de pêche expérimentale, celle-ci demandera néanmoins un effort moindre dans la mesure où les informations déjà recueillies lors de la première prospection serviront de guide pour planifier la seconde.

S'il est décidé d'entreprendre une prospection d'évaluation des ressources la méthode de prospection qui sera utilisée devra être choisie. Cette décision devra se faire à la lumière des informations disponibles sur les stocks exploitables présents dans la région. Si l'on a affaire par exemple à des stocks composés uniquement ou essentiellement d'espèces démersales, il faudra se poser la question de savoir si celles-ci sont distribuées sur des fonds chalutables ou au contraire sur des fonds trop accidentés? Si les informations dont on dispose ne permettent pas de décider quelle est la méthode de prospection la mieux appropriée, il faudra effectuer au préalable une campagne de reconnaissance qui pourrait, le cas échéant, prendre la forme d'une prospection acoustique rapide de la zone complétée de quelques traits de chalut de façon à déterminer l'extension des fonds chalutables, les espèces présentes sur ces fonds et leur abondance approximative ainsi que la répartition des poissons au-dessus du fond.

Si les informations déjà disponibles ou les résultats de la croisière de reconnaissance indiquent que la ressource majeure se compose bien d'espèces démersales et que la zone est généralement chalutable, ces ressources seront évaluées à l'aide de chalutages de prospection. En dehors des prospections acoustiques réalisées avec un équipement complexe dans de bonnes conditions, c'est la seule méthode qui permette de déterminer l'abondance absolue d'une ressource, et par conséquent sa production potentielle. Pour obtenir une telle évaluation à partir d'une prospection par chalutage, ainsi que la connaissance voulue de la composition par espèces et des variations d'abondance à l'intérieur de la zone et selon les saisons, les stations de chalutage devront être réparties sur toute l'étendue de la zone, comme il est conseillé au Chapitre 2. La prospection devra être répétée à différents moments de l'année, aussi souvent qu'il apparaît nécessaire. Il faut aussi souligner que si l'on veut évaluer un stock, toute son aire de distribution doit être couverte. Si une partie de la ressource se compose de grands migrateurs (thonidés, maquereaux, etc.), une prospection localisée ne peut fournir aucune indication sur la taille réelle du stock et son potentiel de capture. La production de la zone prospectée dépendra en effet non seulement de la taille du stock, laquelle ne peut être estimée que si la prospection porte sur toute son aire de distribution, mais aussi du taux d'exploitation que le stock subira en dehors de la zone prospectée ainsi que du schéma de migration du stock.

Si les données disponibles donnent à penser que les ressources exploitables sont composées surtout d'espèces pélagiques, la méthode de prospection à retenir devra très probablement être acoustique, les détections étant complétées par des pêches de contrôle au chalut

pélagique ou à la senne tournante de façon à identifier les espèces détectées et recueillir des données d'ordre biologique, par exemple sur la composition de longueur d'âge, etc., du stock. Le choix, parmi ceux décrits au Chapitre 3, du type de prospection acoustique se fera essentiellement en fonction de l'équipement et de l'expertise technique dont on dispose. Si on en a les moyens, les techniques d'écho intégration devront être préférées. Les considérations évoquées au paragraphe précédent, sur la nécessité de concevoir un schéma d'échantillonage approprié s'appliquent évidemment aussi bien aux prospections acoustiques.

On a vu le risque qu'il y avait à surcharger le programme des prospections exécutées à l'aide d'un navire de recherche. En retenant un nombre excessif d'objectifs, on s'expose à ne pas avoir suffisamment de temps ni le personnel nécessaire pour recueillir convenablement toutes les données prévues. Il ne faudra donc recueillir que les données dont le traitement aura été spécifiquement prévu, et qui sont nécessaires pour atteindre les objectifs fixés à la prospection. Comme on l'a vu au Chapitre 2, un trait essentiel d'une bonne planification d'une campagne ou d'un programme de prospection consiste à bien sérier les objectifs prioritaires et à définir quelles données doivent être recueillies à chaque station, ainsi que le nombre de stations à prospecter. On pourra alors fixer la durée de la campagne et déterminer combien de chercheurs seront nécessaires pour réaliser les observations. Il est toujours utile de prévoir une marge de manoeuvre pour faire face aux conséquences du mauvais temps éventuel, des pannes mineures ou du mal de mer. Les objectifs secondaires (hydrologie, prélèvements de plancton, etc.,) ne sauraient être inclus au programme que si l'on dispose d'un temps et de personnel dépassant sensiblement les besoins ainsi estimés. Toute campagne de prospection par pêches exploratoires a pour objet essentiel d'échantillonner un nombre de positions suffisant pour couvrir convenablement la zone prospectée et de pouvoir ainsi mesurer avec précision nécessaire les rendements, leur composition spécifique ainsi que les distributions de longueur et d'âge des espèces présentes en plus grande abondance dans les traits. Ce sont là en effet les données de base pour la réalisation des évaluations décrites au Chapitre 6.

Enfin, il faut souligner combien il est important d'enregistrer systématiquement et soigneusement les mesures, puis de diffuser en temps voulu toutes les conclusions auxquelles la prospection a conduit (Chapitres 5 et 6). Une prospection bien organisée se révèlera tout à fait inutile si les mesures sont mal notées, si l'on ne peut pour cette raison les combiner aux autres observations réalisées aux mêmes stations ou encore si elles sont ultérieurement perdues par suite des défectuosités du système de classement.

NO: 1125